



# PROFUNDERE SCIENTIAM

nr 13  
wrzesień 2017

BIULETYN CENTRUM STUDIÓW ZAAWANSOWANYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

## Odkrycie fal grawitacyjnych

Michał Bejger o detekcji fal grawitacyjnych i nowych możliwościach badania Wszechświata

Zgodnie z ogólną teorią względności, upublicznią przez Alberta Einsteina w 1915 roku, siła grawitacji to iluzja. Masywne ciała wydają się wzajemnie wpływać na swój ruch (przyciągać się), ponieważ proporcjonalnie do swojej masy zakrzywiają wokół siebie przestrzeń a także wpływają na tempo, w jakim płynie czas. Ich ruch odbywa się po liniach „najprostszych” (geodezyjnych) w zakrzywionej (czaso)przestrzeni, a informacje o stanie geometrii przekazywane są ze skończoną prędkością – prędkością światła. Obraz ten jest istotnie różny od intuicyjnego modelu grawitacji Newtona, w którym siła grawitacyjna działa natychmiastowo na odległe od siebie ciała, a obserwator zawsze jest w stanie określić kolejność obserwowanych zdarzeń, ponieważ obiekty znajdują się w absolutnie określonej przestrzeni i odczuwają ten sam absolutny przepływ czasu. Dzięki niusuwalnej relacji pomiędzy geometrią czasoprzestrzeni a obiektami znajdującymi się w niej zjawiska, o których przyzwyczailiśmy się myśleć jako o stabilnych już takie nie są. Przykładem jeden z największych sukcesów mechaniki Newtona – układ podwójny mas (np. gwiazd): w ogólnej teorii względności staje się niestabilny z powodu obecności trzeciego ciała (czasoprzestrzeni), która odbiera energię układu, zmienia jego parametry i nieuchronnie prowadzi do katastroficznego końca (zderzenia się składników).

Wkrótce po ogłoszeniu teorii Albert Einstein zdał sobie sprawę, że

zlinearyzowana wersja równań przypomina równanie falowe. Rozwiązanie można interpretować jako zmienną w czasie składową krzywizny czasoprzestrzeni propagującą się z prędkością światła w geometrii o nieziennej (lub o wiele wolniej zmieniającej się) krzywiznie „tła”. Przybliżenie liniowe odpowiada fali z daleka od źródła. Wykorzystując symetrie cechowania można pokazać, że rozwiązanie – fala grawitacyjna – jest w niektórych aspektach podobne do fal elektromagnetycznych: jest falą poprzeczną, generowaną przez przyśpieszony ruch ładunków (w tym wypadku mas), która może być spolaryzowana (posiada dwie niezależne polaryzacje).

Kolejne 40 lat było czasem wielkiej konfuzji, w którym sam Einstein zwątpił w realność fal grawitacyjnych. Jednym z fundamentalnych wymagań ogólnej teorii względności jest, by fizyczne rozwiązania były niezależne od arbitralnego wyboru współrzędnych – Einstein interpretował otrzymane przez siebie rozwiązania jako czysto matematyczny artefakt, związane z wyborem współrzędnych i cechowania. Dopiero w późnych latach 50. XX wieku teoretyczne prace Feliksa Piraniego, Hermana Bondiego Ivora Roberstona oraz – w szczególności – wychowanka Politechniki Warszawskiej Andrzeja Trautmana (później profesora Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego) udowodniły niezbicie, że fale grawitacyjne to realny, mogący

{CIAĞ DALSZY NA S. 4}

### W NUMERZE

między innymi:

- *Odkrycie fal grawitacyjnych* – profesor Michał Bejger (s. 1, dokończenie s. 4)
- *Otwarty umysł* – profesor Stanisław Janeczko (s. 1, dokończenie s. 14)
- *Inhalacyjne podawanie leków – wyzwania dla inżyniera* – profesor Tomasz Sosnowski (s. 9)
- *Psycholog-ja* – rozmowa z dr. Leszkiem Mellibrudą (s. 16)
- *Rola chemii w projektowaniu zaawansowanych tworzyw ceramicznych i kompozytów* – profesor Mikołaj Szafran (s. 23)
- *Komentarz do projektów założeń do Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym* – profesor Leon Gradoń (s. 31)

### OTWARTY UMYŚL

Profesor Stanisław Janeczko

Analiza dzisiejszego stanu nauki, jej obiektów badań, strumienia wiedzy, wskazuje na nowe wyzwania. Dzisiaj coraz bardziej nasze zainteresowanie przenosi się z substancji na relację, komunikację i czas. Być może przechodzimy do nowego sposobu opisu świata, zaczynamy wykraczać poza ogromne ilości danych i relacji, „świat ilości” i próbujemy odczytywać wielopoziomowy język świata jakości, świata „stawania się”. Wezwanie o podejmowanie projektów o tzw. walorach interdyscyplinarnych, realizowanych przy udziale wielu obszarów wiedzy, powraca jak bumerang, szczególnie wtedy gdy następuje rzetelne podsumowanie

{CIAĞ DALSZY NA S. 14}

## DZIAŁALNOŚĆ CENTRUM STUDIÓW ZAAWANSOWANYCH PW

czyli najważniejsze wydarzenia i najbliższe plany CSZ PW

### PROFESOROWIE WIZYTUJĄCY

W ciągu ostatniego roku 2016/2017 gościliśmy 8. wybitnych uczonych z ośrodków naukowych na całym świecie:

- prof. Marię Del Carmen Romero Fuster z Department of Geometry and Topology, University of Valencia, Hiszpania
- prof. Stephena Yau z Wydziału Matematyki, Statystyki i Informatyki Uniwersytetu Illinois, Chicago, USA
- prof. Petera J. Giblina z University of Liverpool, UK
- prof. Markusa Pflauma z University of Colorado Boulder, USA
- prof. Shuichi Izumiyę z Hokkaido University w Sapporo, Japonia
- prof. Takashi Nishimurę z Institute of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, Japonia
- prof. Pavela Exnera z Instytutu Dopplera w Pradze, Czechy
- prof. Yosefa Yomdina z Weizmann Institute of Science, Faculty of Mathematics and Computer Science, Rehovot, Izrael

### KONWERSATORIUM – ODCZYTY

W minionym roku odbyły się 3 spotkania w ramach Konwersatorium Politechniki Warszawskiej:

Semestr zimowy 2016/2017

5 grudnia 2016 r. – Profesor Henryk Skarżyński, dyrektor Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu, odczyt pt. *Słuch w rozwoju współczesnych społeczeństw – szanse i zagrożenia*

12 stycznia 2017 r. – Johann-Dietrich Wörner, Dyrektor Generalny Europejskiej Agencji Kosmicznej, odczyt pt. *Space 4.0*

Semestr letni 2016/2017

19 maja 2017 r. – Profesor Hansjörg Dittus, Executive Board Member of the German Aerospace Center (DLR), odczyt pt. *Challenges in Earth Observation – DLR perspective*

### SEMINARIUM SPECJALISTYCZNE W KONWERSATORIUM PW

Podczas ostatnich dwóch semestrów Centrum Studiów Zaawansowanych we współpracy z Centrum Informatyzacji zorganizowało i przeprowadziło dwie serie spotkań pt.: *Wyzwania modelowania inżynierskiego i biznesowego*. Łącznie omówiono 14 tematów – szczegóły: <http://goo.gl/gJxIEj>



↑ Uroczystość wręczenia Wyróżnienia CSZ PW prof. Henrykowi Skarżyńskiemu  
fot: Archiwum CSZ

### WYDAWNICTWA

Oferta wydawnicza Centrum Studiów Zaawansowanych poszerzyła się o:

- CAS Lecture notes /nauki ścisłe/ Piotr Przybyłowicz, *Elementy mechaniki analitycznej. Układy holonomiczne*

Wydawnictwa CSZ można nabyć w księgarniach Oficyny Wydawniczej PW w Gmachu Głównym i przy ul. Noakowskiego 18/20.

Przegląd wszystkich dotychczas wydanych pozycji można odnaleźć pod adresem: <http://www.csz.pw.edu.pl/Wydawnictwa>

### WYKŁADY UOD CSZ PW 2016/2017

W Uczelnianej Ofercie Dydaktycznej Centrum Studiów Zaawansowanych PW w roku akademickim 2016/2017 zorganizowano 9 wykładów podstawowych oraz 10 specjalnych.

Nowymi propozycjami są: *Zaawansowane materiały*, prof. Małgorzaty Lewandowskiej; *Czy geny są odpowiedzialne za wszystko?*, prof. Ewy Bartnik; *Zasady wariacyjne w naukach przyrodniczych*, prof. Jerzego Kijowskiego; *Planowanie eksperymentu i statystyczna analiza wyników*, dr hab. inż. Anny Dembińskiej; *Ile zwierzęcia w człowieku, czyli na czym polega praktyczna mądrość etologii* oraz *Co ludzie robią z ludźmi, czyli zachowania społeczne*, dr. Leszka Mellibrudy; *Nauka patrzenia i widzenia – warsztaty rysunkowe*, mgr Joanny Pętkowskiej;

*Teoria katastrof*, prof. Stanisława Janeczko; *Darwinowska geneza moralności i jej filozoficzne konsekwencje*, dr Adriana Kuźniara; *Organizacja systemów produkcyjnych*, dr hab. inż. Anny Kosieradzkiej oraz mgr inż. Anny Uklańskiej.

Szczegółowy wykaz przedmiotów na stronie <http://www.konwersatorium.pw.edu.pl/oferta>

### POLITECHNIKA NA FALI – SEMINARIUM

W minionym roku akademickim Centrum Studiów Zaawansowanych było partnerem przedsięwzięcia *Politechnika na fali*. Było to seminarium dla studentów PW, które odbywało się podczas pełnego przygód rejsu na żaglowcu STS Fryderyk Chopin. Wraz z uczestnikami w rejs wypłynęli pracownicy dydaktyczni uczelni.

### W CENTRUM UWAGI

20 czerwca 2016 r. odbyło się spotkanie z serii W Centrum Uwagi z udziałem dziekanów wydziałów Politechniki Warszawskiej. Rozmowie przewodniczył Dyrektor CSZ, prof. Stanisław Janeczko.

Uczestnicy omówili istotne zagadnienia z zakresu prowadzenia wspólnej dydaktyki i kształcenia międzywydziałowego. Ustalili wspólne działania zmierzające do współpracy w tym obszarze na poziomie stopnia II i III studiów.

Dziekani poparli i uchwalili kwestię organizowania oraz prowadzenia przez Centrum krótkoterminowych pobytów profesorów wizytujących.

### TRZECIE WYRÓŻNIENIE CENTRUM STUDIÓW ZAAWANSOWANYCH PW

5 grudnia 2016 r. po raz trzeci przyznano wyróżnienie Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej zwane Kosmosem Pitagorasa, którego motto *Laus tibi, non tuleris qui vincula mente animoque* – „Chwała Ci za to, że nie pozwoliłeś nałożyć więzów na swój umysł i swego ducha” doskonale charakteryzuje wyjątkowe walory osobowości tegorocznego laureata, prof. dr hab. n. med. dr h.c. multi Henryka Skarżyńskiego.

Uroczystość poprowadzona przez Dyrektora CSZ prof. Stanisława Janeczko odbyła się w Sali Senatu PW. Laudację wygłosił prof. Krzysztof Zaremba, Dziekan Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych PW. Wręczenia pamiątkowej statuetki dokonał Rektor Uczelni, prof. Jan Szmidt w obecności wielu gości.

### PROMOCJA ALBUMU "AKWARELE"

5 października 2016 r. w Narodowej Galerii Sztuki – ZACHĘTA odbyła się promocja albumu „Akwarele” Joanny Pętkowskiej wydanego przez Centrum Studiów Zaawansowanych PW.

Spotkanie miało miejsce w Księgarni Artystycznej Zachęty. Prezentacja albumu odbyła się w formie rozmowy – wywiadu między autorką, Joanną Pętkowską a prof. Stanisławem Janeczko – dyrektorem CSZ. Artystka opowiadała o swoim artystycznym warsztacie twórczym, inspiracjach, szacunku dla kontekstu w procesie kreacji, etapach rozwoju artystycznego – od detalu w kierunku syntezy, abstrakcji.)

Nowocześnie wydany album prezentujący dorobek artystyczny akwarelistki można nabyć w księgarniach Oficyny Wydawniczej PW w Gmachu Głównym i przy ul. Noakowskiego 18/20.

### SESJE SEMINARYJNE W CSZ

W minionym roku odbyły się dwa spotkania seminaryjne ze studentami Wydziału Matematyki i Nauk Informatycznych PW. Dyskusje na tematy: *Pewność, niepewność...i matematyka* oraz *Nieskończona siła wizji pitagorejskiej* poprowadził dyrektor Centrum prof. Stanisław Janeczko.

### SPOTKANIA OTWARTYCH UMYŚLÓW

W tym roku Centrum Studiów Zaawansowanych PW zapoczątkował cykl wyjątkowych spotkań. Pierwsze z nich zostało zorganizowane z Wydziałem Matematyki i Nauk Informatycznych poświęcone było rozważaniom na tematy o fundamentalnym znaczeniu: wartościach, ich źródłach oraz wpływie na życie człowieka i całych społeczeństw. Spotkanie z licznym gronem uczestników o otwartych umysłach poprowadzili: dr Leszek Mellibruda (Active Business Mind Psychologia biznesu), dziekan Wydziału MINI PW dr Wojciech Domitrz, prof. PW, mgr Agnieszka Tomczyk, oraz dyrektor Centrum Studiów Zaawansowanych prof. Stanisław Janeczko.



**HUMAN  
& FIELD**  
ATDI - CAS WUT SYMPOSIUM

### SYMPOSIUM "HUMAN AND FIELD: SUBMISSION OR INTERACTION"

W maju br. Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej, we współpracy z francuską firmą ATDI, zorganizowało sympozjum poświęcone wpływowi fal elektromagnetycznych i radiowych na organizmy żywe. Spotkanie naukowców z wielu dziedzin odbyło się w Sterdyni (s. 8)

### DYSPUTY PITAGOREJSKIE

1 czerwca 2017 roku odbyło się 3 spotkanie z cyklu Dysput pitagorejskich pt. *Estetyka - kulturowe znaczenie piękna*. Spotkanie zostało zorganizowane przez Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej oraz Wydział Architektury PW. Dysputę prowadzili znakomici goście: prof. Jan Słyk, prof. Stanisław Janeczko, dr Iwona Szustakiewicz oraz dr Adrian Kuźniar.

W trakcie rozmowy zostały poruszone kwestie: Nieprzetłumaczalność doznań estetycznych; Piękno i prawda – artystyczna świadomość w nauce; Forma - wynik analizy i realizacja potrzeb estetycznych; Obiektywizm oraz jakość w nauce i w sztuce.

## PLANY

### WYDAWNICTWA

W przygotowaniu jest folder podsumowujący dydaktyczne działania Centrum Studiów Zaawansowanych, który będzie szczegółowo prezentował całą ofertę wykładową oraz przybliży sylwetki wykładowców, którzy przez te lata aktywnie współpracowali z Centrum.

### CZWARTE WYRÓŻNIENIE CENTRUM STUDIÓW ZAAWANSOWANYCH PW

W grudniu 2017 roku planowana jest kolejna uroczystość związana z przyznaniem wyróżnienia Centrum Studiów Zaawansowanych. Szczegóły dotyczące kandydatury oraz przebiegu wydarzenia zostaną omówione w czasie spotkania Rady programowej CSZ.

### WARSZTATY NAUKOWE

Na jesieni 2017 r. planowane są kolejne warsztaty naukowe Centrum Studiów Zaawansowanych z udziałem naukowców z zakresu fizyki i matematyki.

### 10-LECIE CENTRUM

Trwają przygotowania do obchodów jubileuszowych Centrum Studiów Zaawansowanych, które odbędą się w semestrze letnim 2017/2018. W programie znajdą się nie tylko ciekawe wystąpienia, ale również podsumowanie osiągnięć Centrum. Przewidywanym gościem będzie prof. Ian Stewart, znany na całym świecie popularyzator matematyki. Zdobył wiele nagród za krzewienie wiedzy naukowej, między innymi Medal Michaela Faradaya przyznawany przez Towarzystwo Królewskie i złoty medal Institute for Mathematics and Its Applications. Jest autorem wielu książek popularnonaukowych.

transmitować energię fenomen. Postęp w teorii zainicjował badania nad eksperymentalnym potwierdzeniem istnienia fal. Pomysł użycia światła jako „linijki” do mierzenia odległości w ściskanej i rozciąganej przez fale grawitacyjne przestrzeni pochodzi od Feliksa Piraniego. Na początku lat 60. XX wieku M.E. Gertsenshtein i V.I. Pustovit jako pierwsi proponują użycie do tego celu interferometru, jednak historycznie pierwsze detektory fal grawitacyjnych Josepha Webera zakładają możliwość przechwycenia części energii transmitowanej przez fale: fala o częstotliwości równej częstotliwości charakterystycznej drgań masy (detektora) wzbudzałaby w nim niewielkie, ale możliwe do wykrycia (przynajmniej w teorii) drgania. Idea detekcji z użyciem interferometru laserowego została niezależnie sformułowana przez Rainera Weissa w latach 70., co doprowadziło do powstania projektu obserwatorium LIGO.

Zanim przejdę do opisu aktualnego stanu dziedziny i astrofizyki związanej z pierwszymi detekcjami fal, chciałbym wspomnieć o wczesnych dowodach pośrednich istnienia fal grawitacyjnych. Pierwszym z nich jest obserwacja Bohdana Paczyńskiego (jednego z założycieli Centrum Astronomicznego PAN), który już w latach 60. XX wieku zinterpretował istnienie ciasnych układów podwójnych „zwykłych” gwiazd (układów WZ Sge i AM CVn) jako pośredni dowód na istnienie fal grawitacyjnych: z ewolucyjnego punktu widzenia składniki tych układów mogły się one znaleźć tak blisko siebie jedynie poprzez utratę energii układu przez emisję fal grawitacyjnych. W roku 1974 Russell Hulse i Joseph Taylor odkrywają pierwszy prawdziwie relatywistyczny ciasny układ podwójny z pulsarem radiowym (wirującą gwiazdą neutronową obdarzoną silnym polem magnetycznym). Wzajemne oddziaływanie grawitacyjne składników jest tak znaczące, że ewolucję układu – zacieśnianie się orbity, ruch peryastronu – widać praktycznie „gołym okiem”. Zmiany są zgodne z przewidywaniami ogólnej teorii względności zakładającej emisję fal grawitacyjnych. Te wczesne obserwacje dostarczyły bardzo potrzebnych obserwacyjnych dowodów pośrednich na istnienie fal grawitacyjnych.

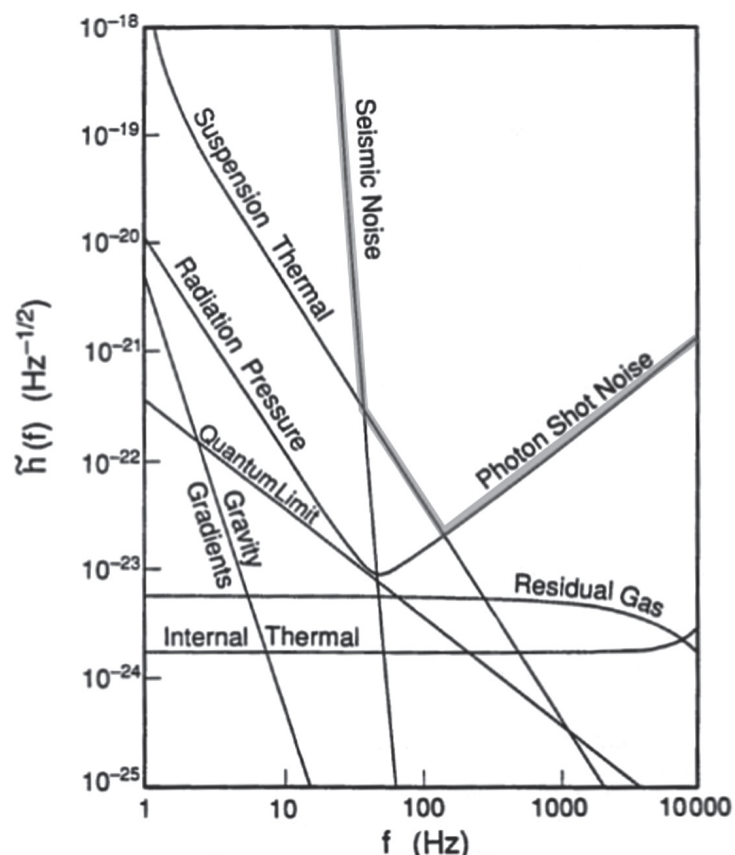
### Era detekcji

Niedawne pierwsze bezpośrednie detekcje fal grawitacyjnych współpracy projektów LIGO i Virgo stwarzają nieczęstą we współczesnej nauce możliwość badań Wszechświata w zupełnie nowy sposób. Znaczące fale

grawitacyjne powstają podczas niesymetrycznego, relatywistycznego ruchu dużych mas, skoncentrowanych w małej przestrzeni. Pierwszym „promieniującym” multipolem jest zmienny w czasie rozkład kwadrupolowy, co intuicyjnie da się wytłumaczyć w następujący sposób: w przypadku izolowanego układu zmienny w czasie monopol byłby związany ze złamaniem zasady zachowania energii, a zmienny w czasie dipol oznaczałby złamanie zasady zachowania pędu. Idealnym źródłem jest zatem na przykład układ podwójny czarnych dziur. Raz wyemitowane fale grawitacyjne praktycznie nie oddziałują z materią i nie podlegają rozpraszaniu. Dla porównania, fale elektromagnetyczne są tworzone w procesach mikroskopowych, silnie oddziałują z otaczającą materią, są często rozpraszane i pochłaniane. Niesione przez nie informacje dotyczą momentu ostatniego kontaktu z materią (powierzchni ostatniego rozproszenia, np. powierzchni gwiazdy). W wielu aspektach obserwacje fal grawitacyjnych są więc komplementarne do tradycyjnych obserwacji elektromagnetycznych dostarczając informacji

niemożliwych do uzyskania innymi metodami.

Astronomia fal grawitacyjnych jest szczególną dziedziną obserwacyjną, polegającą bardziej na „słuchaniu” niż tradycyjnym „oglądaniu” źródeł astrofizycznych. Zakres czułości szerokopasmowych, naziemnych detektorów fal grawitacyjnych, laserowych interferometrów Advanced LIGO i Advanced Virgo o ramionach wielokilometrowej długości, jest motywowany charakterystycznymi częstotliwościami fal emitowanymi przez układy podwójne czarnych dziur o masach gwiazdowych, układów podwójnych gwiazd neutronowych, wybuchów supernowych oraz niestabilności wzbudzanych we wnętrzach rotujących gwiazd neutronowych. Jest on bardzo zbliżony do zakresu czułości ludzkiego ucha, i rozciąga się od około 10 Hz do około 10 kHz (przykładowa krzywa czułości na rysunku 1; schemat detektora na rysunku 2). Podobnie jak w przypadku ucha pojedynczy detektor ma słabą kątową zdolność rozdzielczą. Dopiero sieć trzech lub więcej detektorów umieszczonych w różnych miejscach na globie i obserwujących w tym samym czasie jest w stanie



↑ Rys. 1. Krzywa czułości szerokopasmowego detektora Initial LIGO (z propozalu wystanego do NSF w 1989 roku, <https://dcc.ligo.org/LIGO-M890001/public>). Głównie źródła szumu to: szum sejsmiczny dla niskich częstotliwości, termiczny ruch detektora (luster-ciał testowych i ich zawiesznień) dla częstotliwości około 100 Hz, oraz szum śrutowy związany z kwantową naturą światła dla wysokich częstotliwości (dla porównania zob. krzywą czułości detektorów Advanced LIGO na rys. 2b).

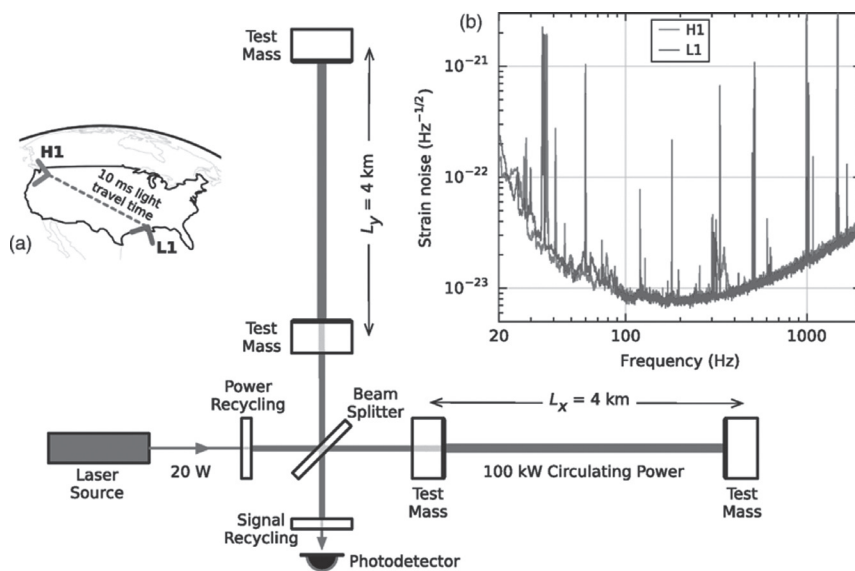
określić kierunek, z którego nadchodzi fala, oraz jej własności np. polaryzacje (która w przypadku układu podwójnego jest związana z orientacją układu: polaryzacja kołowa odpowiada układowi obserwowanemu w kierunku orbitalnego momentu pędu, polaryzacja liniowa pod kątem 90 stopni do tego kierunku).

W przeciwieństwie do anten elektromagnetycznych, np. radioteleskopów, które rejestrują energię fal, podstawową wielkością, którą mierzy detektor fal grawitacyjnych jest amplituda fali  $h$ , czyli zmienne w czasie odstępstwo od stacjonarnego tła czasoprzestrzeni.

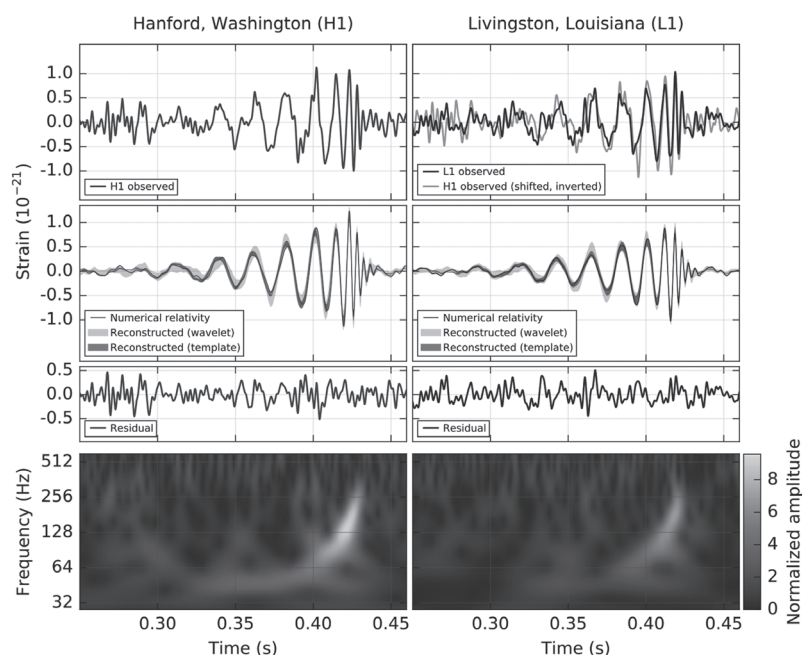
Odstępstwo to jest bardzo małe: dla najsilniejszych źródeł astrofizycznych wynosi  $10^{-21}$  lub mniej (w przypadku detektorów Advanced LIGO lub Advanced Virgo, pomiar tej amplitudy wymaga pomiaru zmian długości ramienia o odległość mniejszą od rozmiaru protonu). Bardziej precyzyjnie, fala jest zmianą w czterowymiarowej czasoprzestrzennej odległości (interwale) i z tego powodu nie da się stwierdzić jej obecności poprzez lokalny pomiar – należy porównać czasoprzestrzenne położenia odległych od siebie zdarzeń.

Trudność tego typu pomiaru zawiera się w pytaniu, jak stwierdzić zmiany odległości w przypadku, gdy linijka też zmienia długość. Na całe szczęście jest jedna niezmienna cecha fizyczna, którą wykorzystuje się jako „idealną linijkę”: stałą dla każdego obserwatora prędkość światła. W przypadku detektora interferometrycznego zasadą detekcji jest pomiar różnic długości ustawionych pod kątem prostym ramion (lub, co na jedno wychodzi, pomiar różnic czasu przelotu światła w ramionach).

Dwa strumienie światła laserowego rozdzielone na wejściu interferometru przemierzają odpowiadające im ramiona od lustra (masy testowej), po czym wracają do centrum interferometru, gdzie następuje superpozycja promieni. Kwadrupolowa natura fali grawitacyjnej oznacza, że podczas gdy zaburzenie przechodzi przez detektor jedno z ramion wydłuża się w momencie, w którym drugie się skraca. Jeśli ramiona nie zmieniają długości, promienie wygaszają się całkowicie (interferencja negatywna). Bezwymiarowa amplituda fali jest proporcjonalna do ilości wychodzącego z interferometru światła. Fakt, że detektor mierzy amplitudę fal, a nie ich energię jest niezmiernie istotną i nieczęsto spotykaną w astronomii cechą pomiarową. Amplituda zanika bowiem odwrotnie proporcjonalnie do odległości od źródła, zatem poprawienie czułości o rząd wielkości oznacza



↑ Rys. 2 Uproszczony diagram detektora interferometrycznego Advanced LIGO (skale nie są zachowane). Fala grawitacyjna propagująca się w kierunku o składowej prostopadłej do płaszczyzny, w której znajduje się detektor cyklicznie zmienia długości prostopadłych ramion detektora (w trakcie pierwszej połowy cyklu fali pionowe wyduży się, a poziome skróci; w drugiej połowie ramie pionowe zostaną skrócone, a poziome wydłużone). Fotodetektor znajdujący się na wyjściu interferometru rejestruje zmiany różnic długości ramion. (a): położenie detektorów LIGO Hanford (stan Washington) i LIGO Livingston (stan Luizjana). (b): Krzywe czułości detektorów: na osi poziomej częstotliwość, na osi pionowej amplitudowa gęstość spektralna wyrażona w jednostkach bezwymiarowej amplitudy fali grawitacyjnej. Wąskie „linie” są związane z kalibracją instrumentów (częstotliwości 33-38, 330 i 1080 Hz), modami drgań zawieszonych lusterek (500 Hz i harmoniki tej częstotliwości) oraz częstotliwością 60 Hz zasilania. Przedrukowane z [1] na podstawie Creative Commons Attribution 3.0 License.

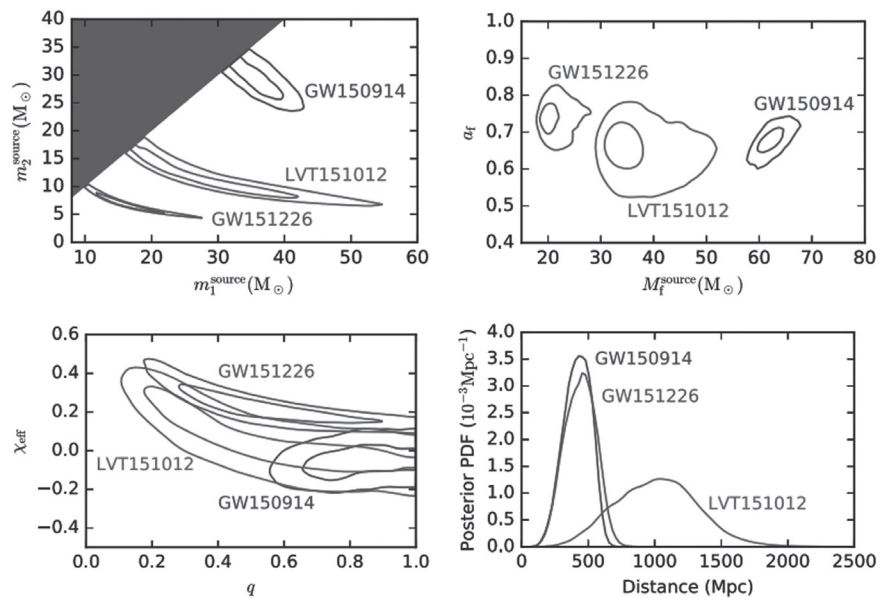


↑ Rys. 3 Zjawisko GW150914 obserwowane przez detektory Advanced LIGO Hanford (H1, lewa kolumna) i Livingston (L1, prawa kolumna). Na osiach poziomych czas względem momentu 14. września 2015 roku, 09:50:45 UTC. Dla celów wizualizacji, szeregi czasowe zostały przefiltrowane filtrem pasmowym (33-350 Hz) w celu wykluczenia zakłóceń znajdujących się poza interesującym przedziałem częstotliwości. Górny rząd: Fala została zarejestrowana najpierw przez detektor L1 i z opóźnieniem  $6.9^{+0.5}_{-0.4}$  ms przez detektor H1. Dla wizualizacji wyniki są przesunięte i obrócone (z powodu fizycznej lokalizacji detektorów). Drugi rząd: Porównanie z obliczeniami numerycznej teorii względności dla najbardziej prawdopodobnych parametrów układu. Trzeci rząd: residua po odjęciu od odfiltrowanych danych wyników symulacji numerycznych. Dolny rząd: reprezentacja zjawiska na wykresie czas-częstotliwość, demonstrująca charakterystyczne zachowanie się sygnału tj. wzrost częstotliwości i amplitudy z czasem („czwierk”). Przedrukowane z [1] na podstawie Creative Commons Attribution 3.0 License.

dziesięciokrotnie większy zasięg detektora, czyli dostęp do tysiącrotnie większej objętości (w przypadku fal elektromagnetycznych poprawa czułości o rząd wielkości skutkuje około trzykrotnym polepszeniem zasięgu). Oprócz amplitudy proporcjonalnej do odległości do źródła detektor mierzy szeroki zakres częstości. Analiza przebiegu czasowego amplitudy i częstości fal dostarcza informacji o źródle emisji.

Wśród źródeł astrofizycznych w zasięgu i przedziale częstotliwości interferometrów Advanced LIGO układy podwójne czarnych dziur o masach gwiazdowych zajmują szczególne miejsce. Podobnie do „świec standardowych” klasycznej astronomii, to znaczy gwiazd o dobrze poznanych właściwościach emisji i jasności (np. gwiazd pulsujących typu cefeid, supernowych typu Ia), które dzięki temu można wykorzystać do pomiarów odległości układy podwójne czarnych dziur nazywa się czasami „syrenami standardowymi”. Układ czarnych dziur nie zawiera materii, więc nie ma potrzeby uwzględniania wielu komplikujących obliczenia procesów mikrofizycznych, zaś same czarne dziury są całkowicie charakteryzowane w ogólnej teorii względności przez dwa parametry: masę i tempo rotacji (spin). Z powodu tej niezwyklej prostoty posiadamy dobry analityczny opis ewolucji układu do momentu, w którym horyzonty czarnych dziur znajdują się bardzo blisko siebie (jest to tzw. faza inspiralu). Proces zderzenia się dziur i zlewania w jedną, większą (faza merger) zachodzi w reżimie silnego pola grawitacyjnego i nie da się go przedstawić analitycznie, zestaw równań Einsteina rozwiązuje się jednak używając metod numerycznych i komputerów dużej mocy. Stan końcowy – rotujący i drgający horyzont finalnej czarnej dziury (faza ringdown, w której czarna dziura wypromieniowuje szczątkowe niesferyczności) jest z kolei dobrze przybliżany przez metody perturbacyjne.

Każdy z trzech wymienionych wyżej etapów zarejestrowanych przez detektor dostarcza innych, komplementarnych informacji o właściwościach układu. Faza inspiralu jest kluczowa ze względu na detekcję sygnału. Analityczny, post-Newtonowski opis ruchu i ewolucji układu przekłada się parametryczny (zależny od m.in. od mas i temp rotacji składników) wzorzec ewolucji amplitudy i fazy fali grawitacyjnej. Znajomość modelu sygnału pozwala na skonstruowanie banków (filtrów) używanych do wykrycia sygnału metodą filtru dopasowanego,



↑ Rys. 4 Rozkłady gęstości prawdopodobieństwa estymowanych parametrów detekcji GW150914, LVT151012 i GW151226 (dwuwymiarowe dystrybucje przedstawiają 50% i 90% obszarów wiarygodności). Górny lewy panel: masy składników. Górny prawy panel: masa i spin końcowych czarnych dziur. Dolny lewy panel: efektywny spin układu  $\chi_{\text{eff}}$  w funkcji stosunku mas składników  $q$  (efektywny spin jest zdefiniowany jako  $\chi_{\text{eff}} = \left( \frac{c}{Gm_1^2} \vec{S}_1 \cdot \vec{L} + \frac{c}{Gm_2^2} \vec{S}_2 \cdot \vec{L} \right) (m_1 + m_2)$ , gdzie  $\vec{S}_i$  oznacza spinowy moment pędu czarnej dziury o masie  $m_i$ , a  $\vec{L}$  jest orbitalnym momentem pędu układu). Dolny prawy panel: odległość do układów. Przedrukowane z [3] na podstawie Creative Commons Attribution 3.0 License.

gwarantującą najwyższy stosunek sygnału do szumu w przypadku detekcji. Charakterystyczna ewolucja rejestrowanej częstotliwości i zmiany częstotliwości w fazie inspiralu jest, przez podobieństwo do odgłosów wydawanych przez ptaki nazywany „ćwierkiem” (ang. *chirp*, sygnał o rosnącej częstotliwości i amplitudzie, zob. także rys. 3). Ćwierk jest związany z funkcją mas składników układu  $m_1$  i  $m_2$ , zwaną masą ćwierku:

$$M_c = \frac{(m_1 m_2)^{3/5}}{(m_1 + m_2)^{1/5}} = \frac{c^3}{G} \left( \frac{5}{96} \pi^{-8/3} f_{\text{GW}}^{-11/3} \dot{f}_{\text{GW}} \right)^{3/5},$$

gdzie  $c$  to prędkość światła, a  $G$  to stała grawitacji Newtona. Z punktu widzenia pomiaru masa ćwierku jest wielkością otrzymywaną wprost z detektora: zależy od bezpośrednio mierzonych częstotliwości  $f_{\text{GW}}$  i jej pochodnej  $\dot{f}_{\text{GW}}$ . Wzrost częstotliwości związany ze zbliżaniem się do siebie składników w fazie inspiralu kończy się raptownie zderzeniem składników i rozpoczęciem fazy zlewania (merger). Krytyczna częstotliwość kończąca inspiral określa rozmiar składników układu, a więc ich masy. Przebieg zlewania się składników pozwala natomiast na niezależne określenie mas, a także określenie orientacji momentów pędów składników i temp rotacji (spinów). Końcowy produkt, czarna dziura o masie zbliżonej, ale nie dokładnie równej sumie

mas składników (niebagatelna część masy-energii układu, około 5%, jest wypromieniowana w falach grawitacyjnych!) wypromieniuje fale grawitacyjne z dynamicznie zmiennego horyzontu osiowoosymetrycznej, rotującej czarnej dziury (rozwiązanie Kerr). Częstotliwości drgań horyzontu są funkcjami masy i spinu czarnej dziury: detekcja dwóch modów drgań pozwoli na niezależny pomiar masy i spinu, a trzech i więcej na zbadanie ewentualnych odstępstw od przewidywań ogólnej teorii względności.

Obserwacja fal grawitacyjnych z układu podwójnego jest niezależną od innych znanych astronomii metodą pomiaru odległości. Bezpośrednio mierzona amplituda fali dostarcza absolutnej, fizycznej odległości jasnościowej (dedukowanej z jasności bądź amplitudy źródła) bez potrzeby jakiegokolwiek kalibracji bądź budowania „drabiny odległości”:

$$r = \frac{5}{96\pi^2} \frac{c f_{\text{GW}}}{h f_{\text{GW}}^3}$$

W skalach kosmologicznych jednoczesna detekcja fal elektromagnetycznych i grawitacyjnych umożliwiłaby pomiar przesunięcia ku czerwieni związane z rozszerzaniem się Wszechświata, a więc badania kosmograficzne w największej skali. Uwzględniając także wspólne obserwacje z detektorami neutron, potencjał odkrywczy tego typu

obserwacji, określanych mianem *multi-messenger astronomy*, jest ogromny.

## GW150914

Czternastego września 2015 roku, oba detektory LIGO (najpierw Livingston, Hanford 7 ms później) zarejestrowały podobny sygnał „ćwierku” (rys. 3). Prawdopodobieństwo fałszywego alarmu (prawdopodobieństwo, że sygnał jest sztuczny i powstał w obu detektorach zupełnie przypadkowo w tym samym czasie w wyniku szumu) oszacowano na mniejsze niż 1 na 5 milionów, co odpowiada częstotliwości fałszywego alarmu mniejszej niż raz na 200000 lat. Parametry źródła zostały obliczone przez dopasowanie do danych modeli analitycznych i numerycznych i wybrane najlepiej dopasowanego:

$$m_1 = 36_{-4}^{+5} M_{\odot} \text{ and } m_2 = 29_{-4}^{+4} M_{\odot}$$

( $M_{\odot}$  oznacza masę Słońca). Końcowy produkt, czarna dziura ma masę równą  $M_f = 62_{-4}^{+4} M_{\odot}$ , a jej spin został wyznaczony na  $a = 0.67_{-0.07}^{+0.05}$ . Odległość do źródła to  $410_{-180}^{+160}$  Mpc (wartość centralna odpowiada odległości 1 miliarda 300 milionom lat świetlnych), i przesunięciu ku czerwieni  $z = 0.09_{-0.04}^{+0.03}$  (przy założeniu standardowego modelu kosmologicznego). Podane błędy odpowiadają przedziałowi wiarygodności 90%.

Mimo że składniki układu zbliżyły się do siebie emitując fale grawitacyjne przez miliony lat, ostatnie 8 orbit układu, odpowiadające częstotliwościom emitowanych fal większych od 30 Hz do około 150 Hz, było widoczne w przedziale czułości detektorów przez zaledwie 0.2 s. Końcowa prędkość orbitalna składników była większa od połowy prędkości światła, a całkowita energia wyemitowana przez układ w ciągu jego życia równa się  $3_{-0.5}^{+0.5} M_{\odot} c^2$ . W momencie największej jasności, gdy czarne dziury łączyły się w jedną, układ emitował  $3.6_{-0.4}^{+0.5} 10^{49}$  Joule/s. Ta niezwykła wydajność transmisji energii w czasoprzestrzeni przekracza o rzędy wielkości znane do tej pory kosmiczne kataklizmy np. błyski gamma, a także sumaryczną jasność wszystkich gwiazd Wszechświata emitujących fale elektromagnetyczne w tym czasie. GW150914 był najbardziej energetycznym jak do tej pory wydarzeniem zarejestrowanym przez ludzkość: tempo emisji energii wynosiło  $200_{-30}^{+30} M_{\odot} c^2/s$ .

Dlaczego mamy pewność, że obserwacja GW150914 jest związana ze zderzeniem czarnych dziur? Przecież mogło być tak, że zjawisko odpowiada mniejszym masom i wydarzyło się bliżej. Zależność mierzonej amplitudy od parametrów układu jest bardzo

charakterystyczna i przedstawia się w najniższym rzędzie rozwinięcia post-Newtonowskiego równań ruchu układu w sposób następujący:

$$h \propto M_c^{5/3} \times f_{GW}^{2/3} \times r^{-1},$$

przy czym  $M_c$  jest znaną funkcją częstotliwości fali i wynosi  $30 M_{\odot}$ . Korzystając z poprawek post-Newtonowskich wyższego rzędu mierzy się sumę i stosunek mas, oraz spiny składników. Suma mas, którą można zgrubnie oszacować zakładając  $m_1 = m_2$  na  $m_1 + m_2 = 2^{6/5} M_c$  wynosi w przypadku GW150914 około  $70 M_{\odot}$ . Obserwowana częstota „ćwierku” kończy się raptownie przy częstotliwości około 150 Hz. Alternatywą dla układu czarnych dziur może być układ gwiazd neutronowych. Jest on dostatecznie zwarty (promienie gwiazd neutronowych wynoszą około 10 km) ale nie jest dostatecznie masywny (maksymalne masy gwiazd neutronowych są nie większe niż  $3 M_{\odot}$ ). GW150914 mógłby być również układem czarnej dziury i gwiazdy neutronowej. W tym przypadku można otrzymać odpowiadającą pomiarowi sumę mas, jednak końcowa częstotliwość orbitalna takiego układu jest o wiele mniejsza od zmierzonych 150 Hz (gwiazda neutronowa wpada dużo wcześniej pod horyzont masywnej czarnej dziury). Przez wykluczenie alternatyw przyjmujemy zatem, że GW150914 to układ czarnych dziur o masach około  $30 M_{\odot}$ .

Przystępny opis astrofizyki związanej z detekcją GW150914 znajduje się w [4].

## Dwie (i pół) detekcji w kampanii obserwacyjnej O1

W trakcie obserwacji LIGO O1, które odbywały się w okresie pomiędzy 12. września 2015 roku, a 19. stycznia 2016 roku zarejestrowano dwa inne zjawiska zderzeń układów czarnych dziur: GW511226 (26. grudnia 2015 roku, [2]), na poziomie wiarygodności powyżej 5 $\sigma$ , podobnie do GW150914 [1], oraz LVT151012 (12. października 2015 roku) który nie przekroczył poziomu wiarygodności 2 $\sigma$ , i tym samym formalnie nie kwalifikuje się jako pełnowartościowa detekcja [3]. Parametry źródeł zarejestrowane podczas obserwacji LIGO O1 (m.in. masy składników, masa i spin końcowej czarnej dziury, odległość) zawarte są na rysunku 4.

Zmierzone masy składników zlewających się układów podwójnych czarnych dziur są większe niż te znane z dotychczasowych obserwacji elektromagnetycznych akrecji materii na czarne dziury w naszej Galaktyce. Jeśli czarne dziury obserwowane w falach

grawitacyjnych powstawały w wyniku ewolucji masywnych gwiazd, które pod koniec życia zapadają się i wybuchają jako supernowe, to oznacza to niższą niż w naszej Galaktyce „metaliczność” (zawartość pierwiastków cięższych od helu) materiału tworzącego te gwiazdy; niższa metaliczność oznacza bowiem mniejszą absorpcję promieniowania przez materię – mniejszą nieprzeźroczystość – a co za tym idzie, mniejszą utratę masy przez wiatry gwiazdowe, i możliwość utrzymania dużej masy w momencie kolapsu i tworzenia czarnej dziury. Te i przysze pomiary mas gwiazdowych czarnych dziur mają fundamentalne znaczenie dla zrozumienia ewolucji masywnych gwiazd i wyznaczenia rozkładu mas czarnych dziur w lokalnym Wszechświecie.

## Podsumowanie

Niedawno byliśmy świadkami pierwszej w historii nauki bezpośredniej detekcji fal grawitacyjnych podczas katastroficznego końca życia układu podwójnego czarnych dziur o masach gwiazdowych, stanowiącego najbardziej energetyczne zjawisko zarejestrowane do tej pory w historii nauki. Obserwacje te dostarczają jednocześnie pierwszych danych dynamicznej ewolucji obiektów w silnym polu grawitacyjnym w pobliżu horyzontu, które mogą prowadzić do nowych testów teorii grawitacji oraz są demonstracją nowej metody pomiaru mas i spinów czarnych dziur. Do tej pory wszystkie trzy detekcje LIGO O1 są zgodne z przewidywaniami ogólnej teorii względności. Estymowana na podstawie tych obserwacji częstota zderzeń czarnych dziur wynosi  $9 - 240 \text{ Gpc}^3/\text{rok}$ .

Astrofizyka fal grawitacyjnych jest dysponuje potencjałem innym niż wszystkie dostępne dotychczas. Obserwacje obiektów nieświecących w falach elektromagnetycznych, oraz wspólne obserwacje z detektorami elektromagnetycznymi i neutrinowymi dostarczają jakościowo nowych danych na temat procesów, ewolucji i populacji obiektów zwartych – czarnych dziur i gwiazd neutronowych. Rozwój nowych detektorów fal grawitacyjnych, dostosowanych do innych przedziałów częstotliwości a także innych obiektów np. detektora kosmicznego LISA, który będzie czuły w paśmie od 0.1 mHz do 1 Hz, pozwoli na zbadanie populacji supermasywnych czarnych dziur, układów zwykłych gwiazd i wczesnych etapów spiralowania układów typu GW150914.

Rozpoczęty przez obserwacje LIGO  
O rozwój astrofizyki fal grawitacyjnych  
otwiera zupełnie nowe okno obserwacyjne na Wszechświat.

## LITERATURA

- [1] Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, Abernathy M R et al. 2016 Phys. Rev. Lett. 116 061102 (Preprint 1602.03837)
- [2] Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, Abernathy M R et al. 2016 Phys. Rev. Lett. 116 241103 (Preprint 1606.04855)
- [3] Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, Abernathy M R et al. 2016 Physical Review X 6 041015 (Preprint 1606.04856)
- [4] Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, Abernathy M R et al. 2017 Annalen der Physik, Volume 529, 1600209 (Preprint 1608.01940)

**Profesor Michał Bejger** jest astrofizykiem pracującym w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika PAN w Warszawie. W przeszłości był stypendystą programu Marie Curie i astronomem wizytującym w Obserwatorium Paryskim, oraz stypendystą DAAD. Interesuje się wnętrzami gwiazd neutronowych, obszarami blisko horyzontu czarnych dziur i modelowaniem zwartych obiektów relatywistycznych i fal grawitacyjnych przy użyciu numerycznej ogólnej teorii względności. Obecnie współpracuje w zespole naukowym skupionym wokół detektorów interferometrycznych LIGO i Virgo, który niedawno zarejestrował po raz pierwszy w historii fale grawitacyjne. Analizuje dane w poszukiwaniu fal emitowanych przez rotujące gwiazdy neutronowe, oraz układy podwójne gwiazd neutronowych i czarnych dziur. Współtworzy również narzędzia do obliczeń symbolicznych w ogólnej teorii względności i rachunku tensorowego ([sagemanifolds.obspm.fr](http://sagemanifolds.obspm.fr)), jest redaktorem odpowiedzialnym za dział astronomii w miesięczniku Delta oraz edytorem *Proceedings of the Polish Astronomical Society*. 1 grudnia 2016 roku wygłosił na Politechnice Warszawskiej odczyt pt. „Odkrycie fal grawitacyjnych: Grawitacja Newtona i Einsteina, Idea detekcji fal, Źródła astrofizyczne”

## HUMAN AND FIELD – SUBMISSION OR INTERACTION

Symposium współorganizowane przez firmę ATDI oraz Centrum Studiów Zaawansowanych

W dniach 19-21 maja br., w Pałacu Ossolińskich w Sterdyni odbyło się sympozjum naukowe poświęcone tematyce oddziaływania fal radiowych na organizmy żywe. Ekspertki z różnych dziedzin nauki wymieniali się swoimi spostrzeżeniami, wątpliwościami i wspólnie szukali odpowiedzi na nurtujące ich pytania. Spotkanie było efektem współpracy Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej oraz francuskiej firmy ATDI, która jako pierwsza wprowadziła do swojego oprogramowania funkcje

dotyczące oddziaływania fal radiowych na człowieka.

*Zaprosiliśmy światowej klasy ekspertów z różnych dziedzin nauki, by rozpocząć poważną dyskusję na temat wpływu fal radiowych na organizm człowieka. Do tej pory oddziaływanie pola elektromagnetycznego na ludzi omawiano w oderwaniu od badań i analiz, a jego potencjalne konsekwencje stały się łatwym łupem politycznych i ekologicznych rozgrywek. W rezultacie, wokół tematu nagromadziło się wiele mitów i kontrowersji – wyjaśnia Agnieszka Ślósarska prezes ATDI Polska.*

Wśród znakomitych gości sympozjum byli m.in. prof. Michael Giersig z Freie University w Berlinie, zajmujący się polem wytwarzanym przez telefony komórkowe czy dr Haim Mazar związany z ITU (Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, organizacja wspierająca ONZ).

Prelegenci chętnie dzielili się swoją wiedzą, odpowiadali na pytania oraz zwracali uwagę, że temat wymaga stałego rozwijania i interdyscyplinarnego podejścia. W licznych dyskusjach nie zabrakło głosów związanych z oddziaływaniem fal na ludzkie DNA czy wykorzystania ich możliwości w terapii nowotworowej.

Problem oddziaływania fal jest szczególnie istotny, biorąc pod uwagę fakt, że sieć telekomunikacyjna stale się poszerza. W 2014 roku ponad połowa ludności na świecie używała już telefonów komórkowych, a liczba ta stale rośnie. Podobne zjawisko obserwujemy w przypadku użytkowników internetu, których liczba wynosi już 3 miliardy, z czego 2 miliardy korzysta aktywnie z Sympozjum rozpoczęło ważną dyskusję, która musi być kontynuowana.





# Inhalacyjne podawanie leków – wyzwania dla inżyniera

## Wprowadzenie

W ciągu doby każdy z nas wdycha i wydycha ok. 8 m<sup>3</sup> powietrza, aby móc dostarczyć do organizmu tlen i usunąć dwutlenek węgla będący produktem przemiany materii. Wraz z powietrzem do płuc są wprowadzane zawieszona w nim drobne cząstki aerozolowe pochodzenia zarówno naturalnego jak i antropogenicznego. Cząstki te w dużym stopniu są zatrzymywane (odfiltrowywane) już we wstępnych obszarach układu oddechowego tj. w nosie, ustach i gardle, jednak najdrobniejsze z nich, o wymiarach poniżej kilku mikrometrów, wykazują zdolność docierania do dolnych dróg oddechowych. Cząstki aerozolowe obecne w powietrzu atmosferycznym, które mają wielkość mniejszą lub równą 2,5 μm (tzw. PM<sub>2.5</sub>) są uznawane za potencjalnie niebezpieczne dla zdrowia i podlegają monitorowaniu przez służby ochrony środowiska. Za respirabilne (wdychalne) uważane są także cząstki większe, o rozmiarach dochodzących do 10 μm (tzw. PM<sub>10</sub>), choć nie penetrują one w głąb płuc, będąc usuwane z powietrza już w górnych drogach oddechowych.

Opisaną powyżej drogę wnikania substancji aerozolowych do organizmu można wykorzystać do dostarczania leków, zarówno o działaniu lokalnym (tj. wywołujących efekt leczniczy w obrębie układu oddechowego) jak i ogólnoustrojowym (inaczej: systemowym), tzn. działających po przeniknięciu leku do krwi. Warto podkreślić, że proces wchłaniania leku z płuc do krążenia systemowego może przebiegać bardzo efektywnie dzięki znikomej grubości bariery krew/powietrze, wynoszącej maksymalnie ok. 2 μm, oraz dużej powierzchni wymiany masy, która u dorosłego człowieka przekracza 100 m<sup>2</sup> [1].

Aby w odpowiedni sposób móc projektować leki inhalacyjne, a także inhalatory, będące urządzeniami

technicznymi służącymi ich wprowadzaniu do organizmu, niezbędne jest rozpoznanie biofizycznych uwarunkowań dotyczących przepływu wdychanych cząstek leku przez kolejne struktury anatomiczne układu oddechowego, ich osadzania się (depozycji) oraz ich lokalnego oddziaływania w miejscu depozycji. Wymienione zagadnienia są przedmiotem kompleksowych badań prowadzonych od ponad 20 lat w Katedrze Inżynierii Procesów Zintegrowanych na Wydziale Inżynierii Chemicznej i Procesowej PW.

## Wybrane inżynierskie aspekty aerozoterapii

### *Przepływ i depozycja cząstek w układzie oddechowym*

Z perspektywy nauk technicznych, układ oddechowy jest postrzegany jako system przewodów, czyli szczególnie „rurociąg”, utworzony przez wielokrotnie rozwidlające się oskrzela i oskrzeliki, zwieńczone kulistymi strukturami - pęcherzykami płucnymi. Przepływ oddechowy jest w nim wywoływany zmienną w czasie różnicą ciśnień między wnętrzem płuc a otoczeniem zewnętrznym. Łączna liczba przewodów oddechowych szacowana jest na setki milionów, jest to zatem bardzo złożona struktura geometryczna wykazująca cechy samopodobieństwa dzięki występowaniu wielokrotnych dychotomicznych podziałów z każdego z oskrzeli lub oskrzelików (fraktalny opis geometrii płuc zaprezentowali m.in. Nelson i wsp. [2]. Pomimo tak skomplikowanej struktury drzewa oskrzelowego, udało się opracować ilościowe opisy jego geometrii, tj. zdefiniować średnie wymiary kolejnych przewodów (długości, średnice i kąty rozwidleń), co stworzyło możliwość prowadzenia obliczeń przebiegu zjawisk przepływowych wewnątrz układu oddechowego [np. 3]. Należy jednak zauważyć, że zaproponowane dane geometryczne tworzą jedynie pewien model, nie

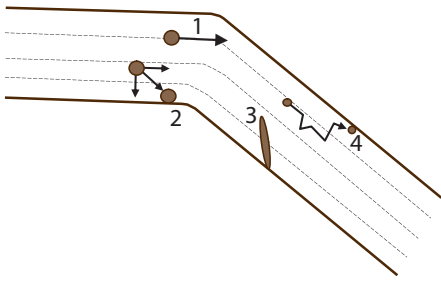
uwzględniają bowiem istniejących różnic międzyosobniczych w budowie anatomicznej układu oddechowego.

W wybranych fragmentach płuc (np. obejmujących kilka rozwidleń oskrzeli) możliwe jest wykonanie kompletnych symulacji przepływu powietrza wraz z zawieszonymi w nim cząstkami, co pozwala określić masę osadzonej substancji, np. leku. Obecnie szerokie zastosowanie znajdują tu symulacje CFD (tj. symulacje prowadzone przy użyciu obliczeniowej mechaniki płynów), które pozwalają realistycznie uwzględnić wpływ właściwości wdychanych cząstek (wielkości, kształtu, gęstości), a także specyficznych efektów towarzyszących wdychaniu aerozoli, takich jak higroskopijny wzrost cząstek, koagulacja, itp. [4, 5]. Istotnym problemem w analizie aerodynamiki w układzie oddechowym jest cyklicznie zmienny w czasie (pod względem wartości i zwrotu) przepływ powietrza. Ten niestacjonarny przepływ we wspomnianej już złożonej geometrycznie architekturze przewodów staje się zagadnieniem o dużym stopniu skomplikowania i tak wysokim koszcie obliczeń, że w praktyce niemożliwe jest jego rozwiązanie dla całości układu oddechowego. Jednocześnie złożoność tego problemu sprawia, że dość często zawodzą intuicyjne przewidywania dotyczące zachowania się cząstek w tym układzie (aerozol nie penetruje i deponuje się w taki sposób, jak można by to przewidywać bazując na analizach prostszych zagadnień przepływowych) [6].

Za depozycję wdychanych cząstek na powierzchni ścian przewodów oddechowych odpowiada kilka mechanizmów fizycznych (Rys. 1):

1. depozycja bezwładnościowa (inercyjna, zderzeniowa) wywołana zmianą kierunku ruchu powietrza podczas szybkiego przepływu np. przez nos, jamę ustną oraz pierwsze rozwidlenia oskrzeli,
2. depozycja grawitacyjna (sedymentacja),
3. depozycja na zasadzie wychwytu/zaczeplenia – istotna dla cząstek niekulistych (np. o kształcie igieł, włókien, płytek),
4. depozycja dyfuzyjna – dominująca dla cząstek submikronowych i nanometrycznych.

Każdy z wyżej wymienionych mechanizmów ma różną sprawność w zależności od lokalnej prędkości przepływu powietrza, a także od wielkości, kształtu i gęstości cząstki. Warto w tym



↑ Rys. 1. Podstawowe mechanizmy depozycji cząstek w układzie oddechowym: 1 - depozycja bezwładnościowa, 2 - depozycja grawitacyjna, 3 - depozycja przez wychwytywanie, 4 - depozycja dyfuzyjna

miejszu zauważyć, że nawet gdyby przepływ powietrza przez układ oddechowy miał wartość i zwrot stałe w czasie, to wydzielanie cząstek o konkretnej średnicy w poszczególnych obszarach układu oskrzelowego miałyby odmienny charakter ze względu na znacząco różne prędkości i czasy przebywania aerozolu w poszczególnych generacjach oskrzeli (znaczne spowolnienie przepływu w miarę przesuwania się w głąb płuc wynika z wykładniczego wzrostu łącznego przekroju dróg oddechowych). W rzeczywistości sytuacja jest jednak jeszcze bardziej skomplikowana, jeśli weźmiemy pod uwagę nie tylko wspomnianą już periodyczność przepływu, lecz również typowo spotykaną polidispersyjność cząstek aerozolowych. Czynniki te sprawiają, że w praktyce możemy jedynie w pewnym przybliżeniu szacować efektywność depozycji wdychanego leku aerozolowego w wybranych regionach układu oddechowego, np. w górnych drogach oddechowych, dużych oskrzelach, drobnych oskrzelach, oskrzelikach i pęcherzykach płucnych. Ponieważ cząstki o większej masie (tj. duże:  $m \sim \rho d^3$ ) są efektywnie wydzielane już w gardle, stąd – dość umownie – przyjmuje się, że tylko cząstkom mniejszym od 5 mikrometrów można przypisać praktyczne znaczenie w aerozoterapii. Cząstki te są określane mianem drobnych (*fine particles*) [7].

### **Inhalacyjne wprowadzenie leku do płuc – problem dawki dostarczonej i rodzaje inhalatorów**

Leki inhalacyjne stanowią bardzo szczególną grupę produktów leczniczych, gdyż ich wprowadzanie do organizmu nieodzownie wiąże się z niepewnością faktycznie dostarczonej dawki. Jak pokazano schematycznie na rys. 2, wynika to z faktu, że już podczas wytwarzania aerozolu z odmierzonej porcji leku (ciekłego lub sproszkowanego) dochodzi do strat spowodowanych

nieidealnym rozpyleniem i pozostawianiem części dawki w inhalatorze. Lek wyemitowany jako aerozol jest wdychany przez usta, gdzie również dochodzi do depozycji niepożądanego z punktu widzenia terapii płuc. W trakcie dalszego trwania wdechu aerozol jest wprowadzany w głąb płuc, gdzie cząstki leku sukcesywnie osadzają się w kolejnych strukturach układu oddechowego. Podczas wydechu niezdeponowany aerozol będzie usuwany z płuc, a zatem do docelowego obszaru depozycji (typowo są nim dolne drogi oddechowe) dociera zwykle nie więcej niż połowa nominalnej dawki leku, tj. tej precyzyjnie odmierzonej z preparatu poddanego aerozolizacji (dawka taka jest zadeklarowana w charakterystyce produktu leczniczego).

Zasygnalizowana niejednoznaczność dawkowania budzi czasem kontrowersje wśród pacjentów i lekarzy, np. w sytuacji, gdy dostępne są produkty inhalacyjne zawierające tę samą substancję czynną, lecz o różnej dawce nominalnej. Ze względu na jakość wytwarzanego aerozolu, są w stanie dostarczyć one do płuc taką samą dawkę leku (co jednak zawsze musi być udowodnione w badaniach przedrejestracyjnych [8]). Przykładem mogą być tutaj preparaty inhalacyjne zawierające fumaran formoterolu ( $\beta_2$ -mimetyk: dawka 12 albo 9  $\mu\text{g}$  podawana z różnych inhalatorów proszkowych daje tę samą masę cząstek docierających do płuc) lub bromek tiotropium (antagonista receptorów muskarynowych: tu deklarowana jest równoważność dla dawek 18 i 13  $\mu\text{g}$  w produktach rozpylanych w inhalatorach o różnej konstrukcji).

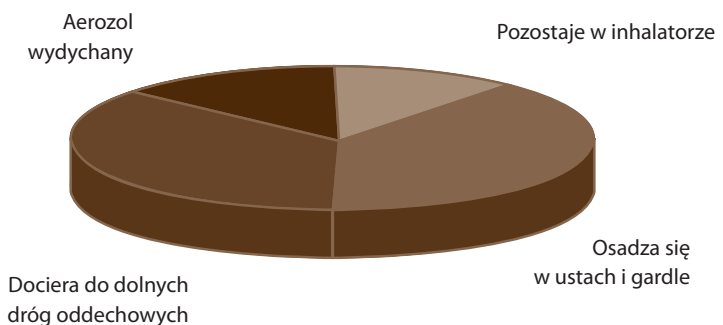
Zmienność masy leku docierającego do płuc zależy również od pacjenta korzystającego z inhalatora, tzn. od rzeczywistych możliwości oddechowych (szybkość i głębokość wdechu) oraz od indywidualnej geometrii układu oddechowego, często znacząco zmienionej w stanach chorobowych (m.in. obturacja dróg oddechowych, nagromadzenie śluzu, itp.). Na wartość

dawki osadzonej w płucach ma znaczenie również sposób użycia obsługi urządzenia inhalacyjnego, który wg szacunków jest niepoprawny w ponad 50% przypadków i ma to związek z rodzajem stosowanego urządzenia inhalacyjnego (inhalator ciśnieniowy, inhalatory proszkowe o różnej konstrukcji) [9]. Błędy obsługi prowadzą do nieoptymalnego dostarczenia leku. Można je w pewnym stopniu eliminować okresowo kontrolując i korygując sposób korzystania z inhalatora przez pacjentów m.in. w zakresie sposobu wykonywania wdechu i wydechu podczas zabiegu inhalacyjnego, jednak duże znaczenie ma również sama konstrukcja inhalatora, w tym zastosowane rozwiązania techniczne mające na celu ograniczenie możliwości popełniania takich błędów.

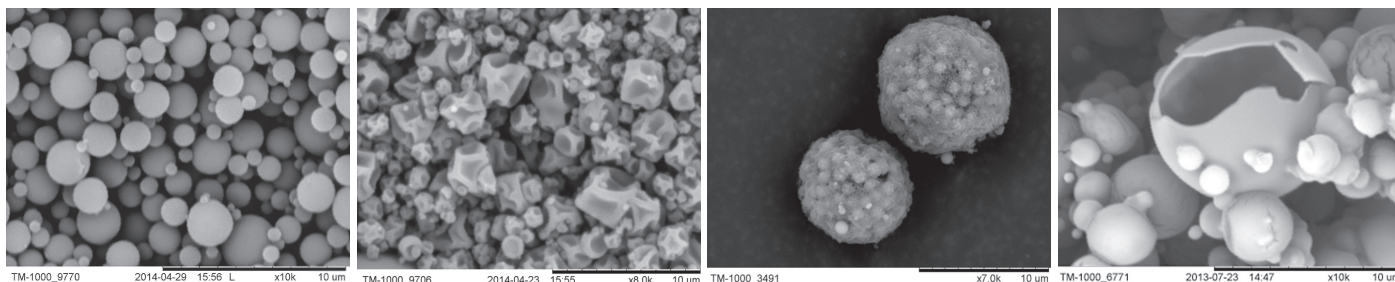
Kolejnym wyzwaniem technicznym jest wytworzenie cząstek aerozolowych zawierających lek w momencie bezpośrednio poprzedzającym podanie (tj. inhalację) dawki. Istnieje szereg możliwości technicznych realizacji tego procesu: rozpylenie leku będącego w postaci ciekłej tj. jako roztwór lub zawiesina (proces atomizacji cieczy), rozpylenie leku występującego w postaci proszku, wytworzenie kropelek z cząstek na drodze nukleacji w procesie kondensacji lub resublimacji par. Dla każdej z ww. metod należy zaprojektować urządzenie techniczne cechujące się ergonomią, prostotą obsługi, niezawodnością, powtarzalnością działania (dawkowanie) oraz odpowiednio niskim kosztem produkcji, przekładającym się na cenę końcową. Jedynie urządzenia spełniające takie wymagania mogą wejść do powszechnego użytku jako inhalator medyczny.

Obecnie na rynku występuje wiele rodzajów inhalatorów, które można pogrupować w czterech kategoriach:

1. Nebulizatory, tj. inhalatory rozpylające lek ciekły (roztwór lub zawiesinę) do kropełek podlegających wdychaniu w trakcie tzw. oddychania spoczynkowego. Inhalacja zadanej porcji



↑ Rys. 2. Emisja i depozycja dawki leku inhalacyjnego



↑ Rys. 3. Przykłady różnych morfologii cząstek otrzymanywanych metodą kontrolowanego suszenia rozpyłowego na WICHiP PW

leku trwa zwykle ok. kilku minut, nie wymaga jednak wykonywania żadnych szczególnych manewrów oddechowych, dzięki czemu jest zalecana także dla pacjentów niewspółpracujących np. małych dzieci, osób starszych, z ograniczoną sprawnością ruchową, a nawet u nieprzytomnych [10]. Ciecz może być rozpylana na zasadzie pneumatycznej, ultradźwiękowej lub w atomizerze z wibrującą membraną (inhalatory siateczkowe);

2. Dawkujące inhalatory ciśnieniowe pMDI – proste w działaniu inhalatory typu spray, powtarzalnie odmierzające porcję leku;

3. Inhalatory proszkowe DPI, wytwarzające aerozol na drodze porwania i rozproszenia proszku przez strumień powietrza, zwykle wywołany wdechem użytkownika (tzw. pasywne DPI);

4. Inhalatory innej konstrukcji np. SMI (*soft mist inhaler*), kondensacyjne (inhalator Staccato, e-papieros [8; 11]).

Pomimo istnienia wielu modeli inhalatorów, wciąż nie ustają prace nad nowymi rozwiązaniami technicznymi, w szczególności dotyczące inhalatorów proszkowych, gdzie najtrudniej jest zapewnić powtarzalne wytwarzanie aerozolu z proszku leczniczego w sposób jak najmniej zależny od siły wdechu pacjenta.

#### **Inhalatory proszkowe – inżynieria cząstek i aerodynamika inhalatorów**

Wstępnym warunkiem poprawnego działania inhalatorów proszkowych (DPI) jest odpowiednie przygotowanie formułacji, z której inhalatorze

wytwarzany jest aerozol o możliwie wysokim udziale cząstek mniejszych od 5  $\mu\text{m}$ . Szerokie zastosowanie znajduje tutaj podejście zwane inżynierią cząstek (*particle engineering*), definiujące w sposób ilościowy proces wytwarzania proszku leczniczego składającego się z cząstek o założonej wielkości, morfologii i stabilności termodynamicznej. Najczęściej są tutaj stosowane procesy suszenia rozpyłowego (*spray drying*), liofilizacji rozpyłowej (*spray-freeze drying*) oraz techniki stosujące płyny w stanie nadkrytycznym [m.in. 12]. Odpowiedni dobór składu i stężenia substancji wyjściowych (prekursorów), a następnie parametrów operacyjnych ww. procesów pozwala na uzyskanie cząstek o odpowiednim składzie, granulacji oraz wymaganych cechach powierzchni, umożliwiających ich łatwe rozpylenie w inhalatorze DPI. Przykłady cząstek o zróżnicowanej budowie uzyskiwanych na WICHiP PW przedstawiono na Rys. 3.

Należy dodać, że w przypadku formułacji proszków inhalacyjnych, cząstki leku o rozmiarach z zakresu do 5  $\mu\text{m}$  są zwykle mieszane z dużymi ziarnami laktozy (o rozmiarze kilkudziesięciu  $\mu\text{m}$  i więcej), niezbędnymi jako dodatek ułatwiający precyzyjne dawkowanie (dawki samej substancji czynnej wynoszą często jedynie kilka-kilkanaście mikrogramów).

Drugim ważnym elementem w procesie otrzymywania aerozolu na drodze rozpraszania proszków jest konstrukcja inhalatora, która powinna zapewnić jak najwydajniejsze wykorzystanie

energii kinetycznej przepływu powietrza (wdech pacjenta) do fluidyzacji (porwania) proszku oraz rozpadu agregatów proszku do pojedynczych cząstek, ewentualnie zespołów o rozmiarach na tyle małych, że możliwa będzie ich penetracja do dolnych dróg oddechowych, rys. 4.

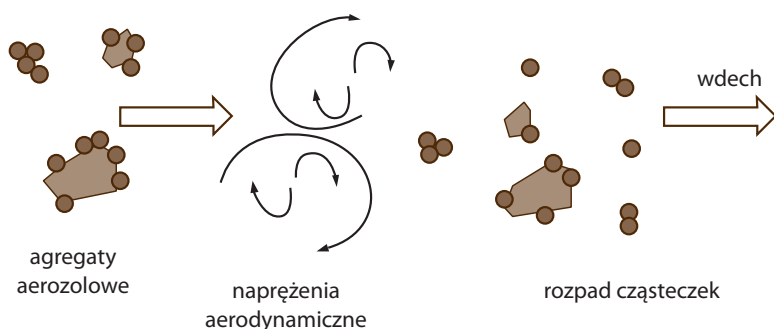
Nakład energii niezbędny do osiągnięcia w inhalatorze wymaganej defragmentacji zespołów cząstek proszku powinien być dostosowany do możliwości oddechowych pacjenta, co oznacza, że nie wszystkie rozwiązania techniczne układu rozpraszania są możliwe do zastosowania w każdym przypadku.

Tzw. wysokooporowe inhalatory proszkowe, choć zapewniają dobrą fluidyzację i deagregację proszku, to wymagają wykonania bardzo energicznego wdechu, co – przy wysokim spadku ciśnienia w inhalatorze – może być nieosiągalne np. przez dzieci, osoby starsze lub pacjentów z restrykcyjnymi chorobami płuc. Dlatego szczególnym wyzwaniem inżynierskim jest projektowanie inhalatorów gwarantujących jak najefektywniejsze zagospodarowanie energii wdechu w celu rozproszenia cząstek leku. Korzystnymi rozwiązaniami mogą być tutaj lokalne turbulizatory przepływu [13], elementy ogniskujące strugę aerozolu [14], a także układy wymuszające fluktuacje przepływu.

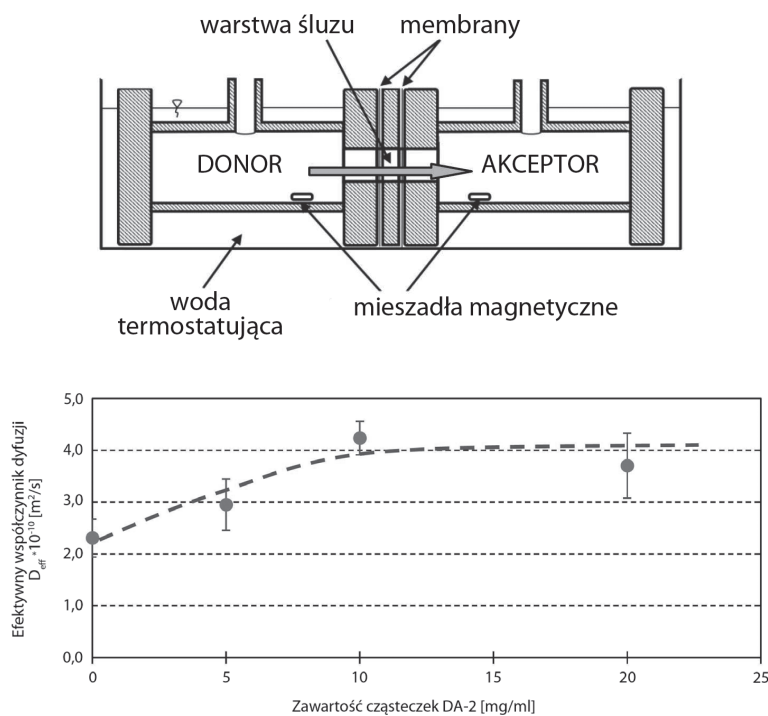
W ostatnich latach coraz częściej proponuje się również tzw. aktywne inhalatory proszkowe, w których wykorzystuje się dodatkowe źródło energii np. sprężony gaz lub wibracje podłoża wymuszone napędem elektrycznym [8]

#### **Fizykochemiczne oddziaływanie cząstek z powierzchnią płuc**

Właściwości cząstek nadane im w procesie wytwarzania formułacji leczniczej mają również znaczenie dla biodostępności leku tj. możliwości oraz szybkości przenikania do komórek nabłonka po depozycji na powierzchni warstwy cieczy pokrywających drogi



← Rys. 4. Schemat procesu deagregacji cząstek w przepływie powietrza



oddechowe. W oskrzelach i oskrze-  
likach depozyty oddziałują ze ślu-  
zem będącym lepko-sprężystą cieczą  
pełniącą funkcję bariery. Dotarcie  
leku do komórek nabłonka wymaga  
jego dyfuzji przez tę warstwę w czasie  
krótszym niż czas przemieszczania  
śluzu wzdłuż drzewa oskrzelowego  
w procesie tzw. transportu śluzowo-  
rzęskowego. Dlatego pożądane jest  
wytworzenie leku inhalacyjnego o ce-  
chach powodujących przyspieszenie  
ruchu masy w poprzek warstwy śluzu.  
W zespole pracującym na WIChiP  
PW opracowano koncepcję inhalacyj-  
nych kompozytowych proszków – noś-  
ników leków, zawierających składnik  
mukolityczny (tj. rozrzedzający śluz)  
stabilizowanych dekstranem oraz  
metodę ich wytwarzania przy zastoso-  
waniu techniki suszenia rozpyłowego  
[15]. W wyniku badań potwierdzono  
odpowiednie właściwości wyprodukowa-  
nych proszków (m.in. wysoki udział  
cząstek mniejszych od  $5 \mu m$  w aero-  
zolu uzyskiwanym z inhalatora DPI),  
a także ich pozytywny wpływ na cechy  
reologiczne sztucznego śluzu oraz na  
szybkość transportu masy przez jego  
warstwę (pomiaru w celkach dyfu-  
zyjnych – rys. 5a). Dzięki lokalnemu  
rozrzedzeniu śluzu przez mukolityk  
zawarty w osadzających się cząst-  
kach uzyskuje się zauważalny wzrost  
szybkości dyfuzji leku wprowadzane-  
go wraz z nośnikiem przez warstwę  
żelową [16]. Przedmiotem obecnie  
kontynuowanych badań w tym zakresie  
jest analiza wpływu poszczególnych  
składników śluzu oskrzelowego na jego

właściwości reologiczne i transportowe  
w chorobach płuc [17].

Cząstki osadzające się głębiej tj.  
w obszarze pęcherzyków płucnych,  
oddziałują z warstwą tzw. surfaktantu  
płucnego tworzonego przez miesza-  
niny fosfolipidów i białek (tzw. apopro-  
tein) adsorbujących się na powierzchni  
ciecz-gaz wyściółki płuc. Surfaktant  
płucny wykazuje szczególne właściwo-  
ści powierzchniowo czynne w wa-  
runkach cyklicznej zmiany wielkości  
powierzchni towarzyszącej oddychaniu  
(wzrost podczas wdechu, spadek –  
przy wydechu). Dynamicznie zmienia-  
jące się napięcie powierzchniowe i jego  
przestrzenny rozkład przyczyniają się  
do powstawania ruchów konwekcyj-  
nych znanych jako efekty Marangonie-  
go, mogących przemieszczać cząstki  
wzdłuż powierzchni, prowadząc rów-  
nież do ich wypychania z pęcherzy-  
ków płucnych. Odbywa się to zgodnie  
z mechanizmem hydrodynamicznego  
samooczyszczania płuc zaproponowa-  
nym przez Gradonia i Podgórskiego  
[18] a następnie zweryfikowanym do-  
świadczałnie [19, 20].

Zmienność napięcia powierzchniowe-  
go podczas oscylacji powierzchni jest  
traktowana jako wskaźnik poprawności  
przebiegu procesów mechanicznych  
i transportowych w obszarze pęcherzy-  
kowym płuc, a także pozwala śledzić  
zaburzenia tych procesów spowodowa-  
ne np. obecnością wdychanych cząstek  
i gazów. Efekty takie można badać w  
warunkach in vitro przy użyciu wyspe-  
cjalizowanych metod pomiarowych.

← Rys. 5.

(a) Układ do badania szybkości dyfuzji  
leku przez warstwę śluzu oddechowego  
modyfikowanego kompozytowymi  
funkcjonalnymi proszkami inhalacyjnymi;  
(b) efekt przyspieszenia dyfuzji dzięki  
cząstkom kompozytowym zawierającym  
mukolityk i dekstran.

Wykorzystuje się tutaj wagę Lang-  
muira oraz tensjometry umożliwiające  
pomiar napięcia powierzchniowego  
przy zmiennym polu powierzchni pę-  
cherzyków gazowych lub kropeł cieczy.  
Za pomocą wymienionych technik  
badawczych można określać m.in.  
wpływ leków aerozolowych na aktywność  
surfaktantu, co pozwala na  
prognozowanie potencjalnych skut-  
ków inhalacji leczniczych na pozio-  
mie pęcherzyków płucnych. Możliwe  
jest także monitorowanie właściwości  
naturalnego surfaktantu pozyskanego  
z płuc pacjentów podczas płukania  
oskrzelowo-płucnego oraz korelowanie  
ich z aktualnym stanem zdrowia a tak-  
że rokowaniami w przebiegu chorób  
płuc [21].

Dużo uwagi w badaniach tensjo-  
metrycznych surfaktantu płucnego  
poświęca się histerezie napięcia po-  
wierzchniowego obserwowanej pod-  
czas oscylacji powierzchni, tj. symula-  
cji cyklu oddechowego. Histerezę tę  
można interpretować jako miarę pracy  
wydatkowanej w układzie surfaktantu  
płucnego na procesy związane z gene-  
racją przepływów Marangoniego i kli-  
rensu pęcherzykowego, z kolei z czysto  
mechanicznego punktu widzenia, jest  
ona przejawem lepko-sprężystych cech  
powierzchni ciecz-gaz, co pozwala  
analizować obserwowane efekty także  
w kategoriach reologii 2D [20]. Rozwa-  
żania tego typu pozwalają na progno-  
zowanie zmian fizjologicznej aktywno-  
ści surfaktantu płucnego pod wpływem  
wdychanych leków lub substancji  
potencjalnie toksycznych [22].

### Podsumowanie

Wkład nauk inżynierskich w zagadnie-  
nia dostarczania leków inhalacyjnych  
wydaje się być nieodzowny ze względu  
na zasygnalizowane w pracy szcze-  
gólne cechy tej metody dawkowania  
leków. Konieczność wytworzenia dys-  
persji w fazie gazowej (aerozolu) oraz  
poznania sposobu jej przemieszczania  
się wzdłuż dróg oddechowych, a na-  
stępnie depozycji cząstek i ich fizyko-  
chemicznego oddziaływania z płynami  
obecnymi na powierzchni płuc, wyma-  
ga wiedzy inżynierskiej i umiejętności  
rozwiązania ilościowego opisu tych  
procesów. Podejście takie pozwala na

uzyskanie szeregu cennych informacji z punktu widzenia praktyki zastosowań aerozoli w leczeniu chorób układu oddechowego. Dzięki inżynierskiej analizie problemów aerozoloterapii prostsze staje się także rozwijanie innowacyjnych koncepcji terapeutycznych, w tym wziewnego dostarczania żywych komórek do płuc (np. bakteriofagów w leczeniu zakażeń, komórek macierzystych w regeneracji płuc [23-25]), czy też zastosowania nowych nośników aerozolowych (np. liposomów, cząstek nanostrukturalnych [26]). Koncepcje te mogą stanowić nowe kierunki rozwoju leczenia drogą inhalacyjną.

*Autor pragnie podziękować współpracownikom biorącym udział w badaniach dotyczących zagadnień podejmowanych w pracy, w szczególności: prof. Leonowi Gradońowi, dr hab. Arkadiuszowi Moskalowi, dr inż. Marcinowi Odziomkowi, dr inż. Dorocie Kondej, mgr inż. Katarzynie Jabłczyńskiej, mgr inż. Katarzynie Kramek-Romanowskiej.*

- [12] Gradoń L, Sosnowski T.R. *Formation of particles for dry powder inhalers*. Adv. Powder Technol. 25, 43-55 (2014).
- [13] Gac, J., Sosnowski, T.R., Gradoń, L. *Turbulent flow energy for aerosolization of powder particles*. J. Aerosol Sci. 39, 113-126 (2008).
- [14] Sosnowski T.R., Giżyńska K., Żywczyk L. *Fluidization and break-up of powder particle aggregates during constant and pulsating flow in converging nozzles*. Coll. Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects 441, 905–911 (2014).
- [15] Odziomek M., Sosnowski T.R., Gradoń L. *Conception, preparation and properties of functional carrier particles for pulmonary drug delivery*. Int J. Pharmaceutics 433, 51-59 (2012).
- [16] Odziomek M., Sosnowski T.R., Gradoń L. *The influence of Functional Carrier Particles (FCPs) on the molecular transport rate through the reconstructed bronchial mucus - in vitro studies*. Transp. Porous Media 106, 439-454 (2015).
- [17] Odziomek M., Kalinowska M., Ptuzińska A., Rożej A., Sosnowski T.R. *Bronchial mucus as a complex fluid: molecular interactions and influence of nanostructured particles on rheological and transport properties*. Chem. Proc. Eng. 38, 217-229 (2017).
- [18] Gradoń L., Podgórski A. *Hydrodynamical model of pulmonary clearance*. Chem. Eng. Sci. 44, 741-749 (1989).
- [19] Gradoń L., Podgórski, A., Sosnowski, T.R. *Experimental and theoretical investigations of transport properties of DPPC monolayer*. J. Aerosol Med. 9, 357-367 (1996).

- [20] Sosnowski TR *Efekty dynamiczne w układach ciecz-gaz z aktywną powierzchnią międzyfazową*. OWPW, Warszawa (2006).
- [21] Miller, E. Pirożyński, M., Jastrzębski, J., Pawelec M., Sosnowski, T.R. *Pulmonary surfactant function in patients with acute lung injury/acute respiratory distress syndrome treated by mechanical ventilation*. Critical Care 9(S1), 39-40 (2005).
- [22] Kondej D., Sosnowski T.R. *Effect of clay nanoparticles on model lung surfactant: a potential marker of hazard from nanoaerosol inhalation*. Env. Sci. Pollut. Res. 23, 4660-4669 (2016).
- [23] Hoe S., Semler DD, Goudie AD, Lynch KH, Matinkhoo S, Finlay WH, Dennis JJ, Vehring R. *Respirable bacteriophages for the treatment of bacterial lung infections*. J Aerosol Med Pulm Drug Deliv. 26, 213-35 (2013).
- [24] Sosnowski T.R., Kurowska A., Butruk B., Jabłczyńska K. *Spraying of cell colloids in medical atomizers*. Chem. Eng. Transact. 32, 2257-2262 (2013).
- [25] Sosnowski T.R., Tomecka E. (2013). *Methods for delivery of living cells to the respiratory system via aerosol route*. Int. Conf. on Theranostics ICoN 2013, Larnaca, Cypr, 26-28.09.2013. Summaries p. 42-43.
- [26] Jabłczyńska K., Janczewska M., Kulikowska A., Sosnowski T.R. (2015). *Preparation and characterization of biocompatible polymer particles as potential nanocarriers for inhalation therapy*. Int J. Polymer Sci. Vol. 2015, article ID: 763020 (8 pages).

## LITERATURA

- [1] Gehr P., Bachofen M., Weibel ER. *The normal human lung: ultrastructure and morphometric estimation of diffusion capacity*. Respiration Physiology 32, 121-140 (1978).
- [2] Nelson TR, West BJ, Goldberger AL. *The fractal lung: universal and species-related scaling patterns*. Experientia 46, 251-254 (1990).
- [3] Yeh H.C., Schum G.M. *Models of the human lung airways and their application to inhaled particle deposition*. Bull. Math. Biol. 42, 461-480 (1980).
- [4] Gemci T., Corcoran T.E., Chigier N. *A numerical and experimental study of spray dynamics in a simple throat model*. Aerosol Sci. Technol. 36, 18-38 (2002).
- [5] Longest P.W., Hindle M. *Condensational growth of combination drug-excipient submicrometer particles for targeted high efficiency pulmonary delivery: comparison of CFD predictions with experimental results*. Pharm Res. 29, 707-721 (2012).
- [6] Sosnowski T.R., Moskal A., Gradoń L. *Mechanisms of aerosol particle deposition in the oro-pharynx under non-steady airflow*. Ann. Occup. Hyg. 51, 19-25 (2007).
- [7] European Pharmacopoeia, 8th ed., Council of Europe, Strasbourg (2014).
- [8] Sosnowski T.R. *Aerozole wziewne i inhalatory* (wyd 2). WICHiP PW, Warszawa (2012).
- [9] Pirożyński M., Sosnowski T.R. (2016). *Inhalation devices: from basic science to practical use, innovative vs generic products*. Expert Opin. Drug Del. 13(11): 1559-1571.
- [10] Pirożyński M. (red.) *ABC nebulizacji z szczególnym uwzględnieniem dawkowania*, Via Medica, Gdańsk, 2015.
- [11] Sosnowski T.R., Kramek-Romanowska K. (2016). *Predicted deposition of e-cigarette aerosol in the human lungs*. J. Aerosol Med. Pulm. Drug Del. 29, 299-309.

**Profesor Tomasz Sosnowski** - specjalista z zakresu zastosowania metod inżynierskich w projektowaniu inhalatorów medycznych oraz oceny depozycji i oddziaływania wdychanych cząstek na układ oddechowy, pracownik Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej, Katedra Inżynierii Procesów Zintegrowanych. Doktorat uzyskał w 1997 r. z wyróżnieniem, habilitację w 2006 r. na WICHiP PW za prace dotyczące dynamiki powierzchni międzyfazowej ciecz/gaz w obecności związków powierzchniowo-czynnych oraz wpływu obserwowanych efektów na hydrodynamikę i kinetykę wymiany masy w układzie oddechowym człowieka. W roku 2016 uzyskał tytuł profesora nauk technicznych. Staż podoktorski odbył w Lovelace Respiratory Research Institute w Albuquerque, USA (1999-2000) gdzie zajmował się badaniem układów aerozolowych do inhalacyjnego podawania leków – w tym współpraca z New Mexico University, Sandia National Laboratory i Los Alamos National Laboratory. Poza tym odbywał krótkoterminowe wizyty badawcze w Szwecji, Austrii i Włoszech. Od roku 2009 zatrudniony na stanowisku profesora PW. W latach 2008-2012 kierownik specjalności „Procesy i produkty biomedyczne” na WICHiP PW, od roku 2012 prodziekan ds. nauki na tym wydziale. Członek rektorskiej Komisji ds. Nauki i Naukowo-Aparatury Badawczej i senackiej Komisji ds. Nauki. Ekspert naukowy Europejskiej Agencji Leków (EMA - Londyn) w zakresie oceny produktów inhalacyjnych. Od 2012 członek Komitetu Sterującego Programu COST MP1106. Kierował pięcioma projektami badawczymi MNiSW, jednym projektem UE (6PR) oraz projektem finansowanym ze środków strukturalnych (POKL). Czterokrotny laureat indywidualnych nagród Rektora PW (I i II st.) za osiągnięcia naukowe. Promotor trzech obronionych prac doktorskich. Współautor ponad 60 artykułów w czasopismach z listy JCR, kilku rozdziałów w książkach wydanych za granicą (*Kluwer, Springer*) oraz zgłoszeń patentowych (2 udzielone patenty, w tym 1 za granicą). Autor książki „Aerozole wziewne i inhalatory” (PW Warszawa, 2010: wyd 1. oraz 2012: wyd. 2, uzupełn.). Wielokrotnie zapraszany na konferencje lekarzy alergologów i pulmonologów w celu prezentacji wykładów poświęconych inżynierskim aspektom terapii inhalacyjnej.

„...otwartość umysłu jest warunkiem koniecznym a często i wystarczającym dokonywania odkryć na styku wielu dziedzin wiedzy i dyscyplin nauki.”

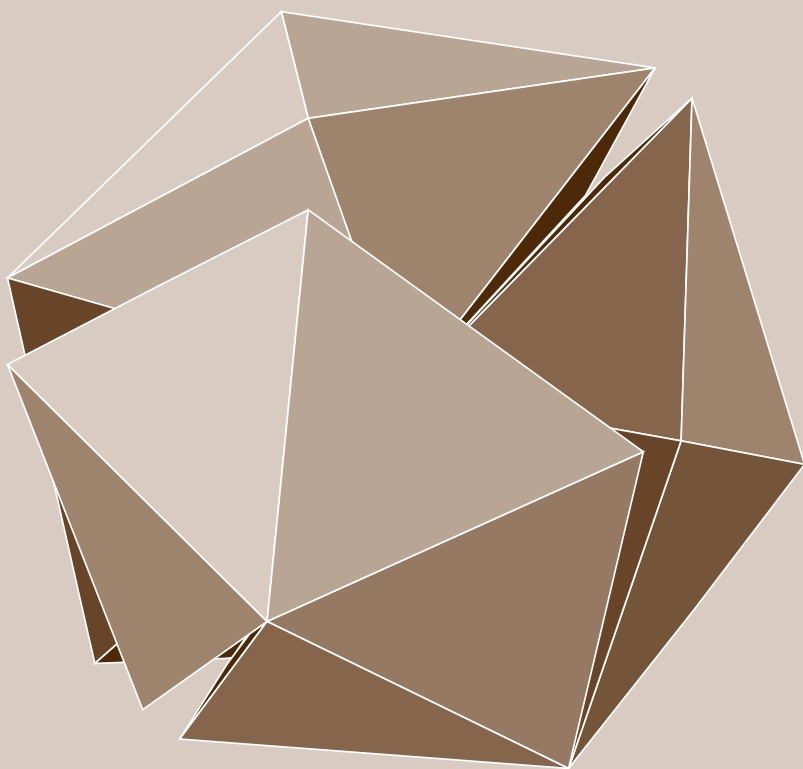
dokonań badawczych. Wydaje się, że umieszczenie obok siebie stosunkowo odległych pojęć zapewni sukces w odkryciu czegoś rzeczywiście nowego. Jednak panuje dziś daleko posunięta zgoda, że strumień wiedzy kieruje się ku rzeczywistości umysłowej. Nasz świat w coraz większym stopniu zaczyna wyglądać jak jedna wielka

myśl, a nie jak maszyna, czy nawet organizm. Najważniejszą, centralną rolę odgrywa Umysł, który nie jest „przygodkowym intruzem” w królestwie materii, a raczej jej kreatorem i animatorem. To cechy umysłu odpowiadają za jakość myśli i wyniki badań. Niewątpliwie otwartość umysłu jest warunkiem koniecznym, a często i wystarczającym, dokonywania odkryć na styku wielu dziedzin wiedzy i dyscyplin nauki. Istotne odkrycia i ważne kroki w rozwoju dokonują umysły otwarte, często nierozpoznane jako takie lub zastępowane zhierarchizowaną maszyną talentów. „Wydaje się, że większość geniuszy, którym zawdzięczamy najważniejsze mutacje w historii myśli, miała pewne wspólne cechy. Z jednej strony, sceptycyzm, często ocierający się o obrazoburstwo, w ich stosunku do tradycyjnych idei, aksjomatów i dogmatów, z drugiej - otwartość umysłu granicząca z naiwną łatwowiernością w stosunku do nowych koncepcji, które dają nadzieję, że instynktowne poszukiwania po omacku zakończą się powodzeniem” (Arthur Coestler, *Sleepwalkers*). Na czym polega otwieranie umysłu? Uwalnianie go od dominacji instynktów i doznań zmysłowych? Ożywianie dociekliwości? Na to pytanie będziemy szukać odpowiedzi w „Spotkaniach Otwartych Umysłów” organizowanych przez Centrum Studiów Zaawansowanych PW we współpracy z Wydziałami PW. Pierwsze spotkanie „O wartościach, ich źródłach oraz wpływie na

życie człowieka i całych społeczeństw” zostało zorganizowane na Wydziale Matematyki i Nauk Informatycznych.

Rzeczywistość procesów umysłowych to jedyna rzeczywistość w idealistycznej wizji świata. „Każdy przyzna, że ani nasze myśli, ani uczucia, ani idee ukształtowane przez wyobraźnię nie istnieją poza umysłem. Otóż wydaje się nie mniej oczywiste, że różne wrażenia zmysłowe, to znaczy idee wyryte na zmysłach, jakkolwiek byłyby ze sobą zmieszane i połączone ze sobą (to znaczy bez względu na to, na jakie składałyby się przedmioty) nie mogą istnieć inaczej, jak tylko w umyśle, który je postrzega...[...] Okazuje się tu tylko, że potrafimy wyobrażać sobie czy kształtować idee w swym umyśle, ale stąd wcale nie wynika, abyśmy mogli sobie przedstawić, iż jest możliwe, by przedmioty naszych myśli istniały poza umysłem” (George Berkeley, *Traktat o Zasadach Poznania Ludzkiego*, 1956). Cokolwiek rozumiemy przez rzeczywistość, zawsze odpowiada ona pewnej aktywnej konstrukcji myślowej. Czy z naszą jedną Wielką Myślą zbliżamy się do wizji Berkeleygo? Tego który negował materię, przeczył jakoby istniał ból, którego nikt nie odczuwa, kolory których nikt nie widzi, etc. Wierzył w świat pozorny, tkany przez zmysły i był przekonany, że świat materialny jest złudnym podwojeniem. W sceptycznej wizji świata David Hume (*Traktat o Naturze Ludzkiej*, 1963) czyni z każdego człowieka „nic innego niż wiązkę czy zbiór różnych percepcji, które następują po sobie z niepojętą szybkością. [...] Umysł to teatr pewnego rodzaju, gdzie liczne percepcje zjawiają się kolejno, prześlizgują się i znikają, to znów mieszą się ze sobą

„Niewątpliwie to nauka nowożytna ponosi odpowiedzialność za podział świata na dwie części.”



„Element dzisiejszej nauki: połączenie teorii z praktyką. Zespolenie ambicji kształtowania świata z pragnieniem rozumienia go.”

w nieskończonej ilości różnych postaw i sytuacji [...] Nasze percepcje, które składają się na nasz umysł, zjawiają się tylko kolejno w czasie; nie mamy zaś nawet najbardziej odległego pojęcia o miejscu w przestrzeni, w którym by się sceny rozwijały, ani pojęcia o składnikach, z których umysł się składa” Jak więc mierzyć „otwartość umysłu”? Berkeley przeczył, jakoby poza wrażeniami zmysłowymi istniał jakiś przedmiot, z kolei Hume przeczył jakoby poza postrzeganiem zmian istniał jakiś podmiot. W tym sensie pierwszy negował materię drugi odrzucał ducha, nie chciał, abyśmy dodawali metafizyczne pojęcie „ja” do następstwa stanów umysłu. Struktura świadomości, w której żyjemy obecnie, nie dopuszcza negowania podmiotu i przedmiotu, a w szczególności podziału na podmiot i przedmiot, który stał się niepodważalnym dogmatem naszej cywilizacji. Stanowi ostoję techniki i wielu nauk a jego negowanie budzi poczucie zagrożenia, utraty opoki na której się stoi.

Niewątpliwie to nauka nowożytna ponosi odpowiedzialność za podział świata na dwie części. Usunęła bariery oddzielające Niebiosą od Ziemi, połączyła i dalej łączy wszechświat, ale „dokonała tego zastępując nasz świat wartości i doznań zmysłowych, ten świat, w którym żyjemy, uczymy się kochać i umieramy, światem innym – światem ilości, światem, w którym rządzi bóstwo matematyki (\*), światem, w którym na wszystko jest miejsce, a nie ma go dla człowieka. Tak oto świat

nauki – świat rzeczywisty – oddalił się i całkowicie odłączył od świata życia, którego nauka nie była już w stanie wytłumaczyć – nawet usprawiedliwiając to przez nazwanie go światem subiektywnym [...] W rzeczywistości oba te światy są powiązane przez praktykę – i więzy te stale się zaciesniają. Natomiast od strony teorii/rozumienia rozdziela je przepaść [...] Dwa światy – to znaczy, że są dwie prawdy albo, że nie ma żadnej. Na tym polega dramat współczesnego umysłu, który rozwiązuje zagadkę wszechświata po to tylko, aby zastąpić ją inną: zagadką samego siebie, w której on sam pozostaje niewiadomą.” (A. Koyre, *Newtonian Studies*, Chicago 1968).

Takie słowa jak maszyna, mechaniczny, inżynier mają podobne znaczenie jak kiedyś. Nie odnoszą się do racjonalnej wiedzy, lecz do sprytu i użyteczności. Chodzi nie o poznanie praw przyrody, by je skutecznie spożytkować, ale o to, by przechrzcić przyrodę, by „spiskować” przeciwko niej – to znaczy by czynić cuda i osiągać efekty obce „naturalnemu porządkowi” rzeczy. Od czasu Platona i Arystotelesa dziedzina praktycznej manipulacji i dziedzina racjonalnego pojmowania przyrody zostają sztywno od siebie oddzielone. Status Archimidesa to zaledwie status inżyniera: jego matematycznej analizy równowagi

w maszynach prostych nie rozważa się pod kątem jej stosowalności do rozumienia świata przyrody. Dopiero od Newtona rozpoczyna się systemowy sojusz między praktycznym działaniem a wiedzą teoretyczną. Element dzisiejszej nauki: połączenie teorii z praktyką. Zespolenie ambicji kształtowania świata z pragnieniem rozumienia go. To właściwie powolny powrót do Pitagorejskiej jednoczącej wizji świata. Dzisiaj prawdziwe osiągnięcia techniki to realizacja praktycznych celów, których funkcją są złożone procesy od badań podstawowych, poprzez krytyczną dyskusję i weryfikację do realizacji nowej treści praktycznej. Krytyka Newtonowskiej syntezy w łonie dzisiejszych elit nauk technicznych to skazywanie tych nauk na powolną degradację, prowadzącą jedynie do drobnej działalności odtwórczej.

(\*) Deklaracja: *Bóg jest matematyką*  
ks. M. Heller, Gazeta Wyborcza 13.03.2008

{ Profesor Stanisław Janeczko,  
Dyrektor Centrum Studiów  
Zaawansowanych Politechniki  
Warszawskiej }

# Psycholog-ja

Rozmowa z dr. Leszkiem Mellibrudą, psychologiem społecznym i biznesu, wykładowcą Centrum Studiów Zaawansowanych PW

Na przestrzeni ostatnich lat znaczenie psychologii właściwie nieustannie wzrasta. Dziś stanowi ona nieodłączny element wychowywania dzieci, edukacji, pracy nad udanym związkiem, procesów leczenia, egzystencji społecznej, efektywnej pracy zawodowej i wielu innych relacji. Czy nasze społeczeństwo dojrzało do autorefleksji? Czy lepiej potrafimy rozpoznawać emocje, relacje i mechanizmy, w które nieustannie wpadamy? Czy lepiej sobie z nimi radzimy?

Psychologia jest dla ludzi – to dobra nowina – ale dla niektórych może być niebezpieczna. Psychologia służy głównie temu, aby poprawiać jakość życia, jakość relacji z innymi ludźmi, relacji ze sobą oraz jakość rozumienia świata, tego co dzieje się wokół nas i w nas samych. Wyniki badań nad różnego typu zjawiskami psychologicznymi z jednej strony mają wymiar akademicki – badawczy – a z drugiej strony mają aspekt użytecznościowy. Taki, który wiąże się z możliwością zastosowania ich do życia w różnych sytuacjach zawodowych i osobistych, do lepszego rozumienia siebie, reakcji własnych, cudzych a również reakcji całych grup społecznych np. konsumentów.

Czym innym jest wiedza psychologiczna, czym innym wrażliwość psychologiczna. Dobrze by było gdyby te dwie właściwości chodziły w parze, ale nie zawsze tak jest. Niewątpliwie wiedza psychologiczna może być użyteczna do podnoszenia jakości swojego życia, lepszego rozumienia własnego zachowania oraz zachowania innych ludzi, ale i często tak nie jest. Nawet jeśli ludzie posiadają wiedzę niekoniecznie potrafią ją zastosować.

Kiedy myślimy o psychologii, to głównie myślimy o świecie emocji. Kiedy mamy do czynienia z różnego typu zapytaniami, refleksjami, dyskusjami, to najczęściej dotyczą one świata emocji, a w szczególności regulowania tych emocji, czyli pośrednio lub bezpośrednio odnoszą się do dość wąskiej dziedziny psychologii, która zajmuje się inteligencją emocjonalną. Zatem skupmy się na tym najbardziej powszechnym obszarze zainteresowań psychologicznych bardzo wielu ludzi. Cóż to takiego jest ta inteligencja emocjonalna – czy każdy ją ma? No więc każdy, tylko w różnym nasileniu bowiem każdy

jakoś sobie radzi z własnymi emocjami. Czasami jest to sposób używania wiedzy o reakcjach psychicznych, emocjonalnych, mentalnych albo szerzej, a czasami jest to odruchowe bądź przypadkowe reagowanie. Niestety może być to również reagowanie autodestrukcyjne, wtedy mówimy o bardzo niskim poziomie inteligencji emocjonalnej, lub o zaburzeniach emocjonalnych. Można powiedzieć, że emocje należą do punktu styczności pomiędzy światem duchowym, mentalnym a światem biologicznym i właśnie w tym jest ulokowana podstawowa trudność dla wielu osób – aby rozwijać swoją inteligencję emocjonalną wyłącznie w oparciu o zdrowy rozsądek, czyli intuicję. Bez wiedzy na temat naszych emocji, tego jak funkcjonują, skąd się biorą oraz jakie mamy możliwości w oddziaływaniu na nie, trudno jest mówić o skutecznym radzeniu sobie z nimi. Niewątpliwie jednym z czynników inteligencji emocjonalnej jest wiedza na temat funkcjonowania emocjonalnego człowieka, ale to za mało.

Klasyki wyróżniają cztery, czy pięć podstawowych wątków, po których poznaje się czy człowiek jest, i jak bardzo, inteligentny emocjonalnie. Po pierwsze, czy potrafi regulować własne emocje w określony sposób, czy też w określonym celu. Jeśli potrafi regulować emocje w celu własnego rozwoju to oznacza, że ma zdolność panowania nad emocjami, a nie tylko tłumienia, że w relacjach z innymi może moderować emocje negatywne i wzmacniać pozytywne. Umiejętność wpływania na świat własnych odczuć i przeżyć, czyli emocji nie polega na tłumieniu, czy też ocenianiu informacji – skąd one się wzięły, co one oznaczają – tylko głównie na regulowaniu tych emocji. Jak to robić, to już jest następna sprawa. Wymaga to umiejętnego wykorzystywania wiedzy emocjonalnej, czyli zdolności nazywania i rozumienia, nie tylko emocji jako takich, ale również relacji między słowami a różnego typu uczuciami, np. relacji pomiędzy tym gdzie jest i na czym polega lubienie, a na czym polega miłość, albo na czym polega niechęć, a na czym nienawiść. Dotyczy to zarówno skrajnych emocji jak i niuansów. Wiedza emocjonalna poprzez

nazywanie i rozumienie potrafi wprowadzać w nas porządek, wewnętrzną harmonię – niesłuchanie ważne i potrzebne dzisiaj stany wewnętrzne. Poza tym wiedza emocjonalna daje nam również możliwość interpretacji. To jest również istotne, ponieważ często te interpretacje emocji u osób bez wiedzy emocjonalnej są nadinterpretacjami, bądź też życzeniowym myśleniem o tym co przeżywają one same albo inne osoby. Kolejnym czynnikiem, który jest opisywany przez inteligencję emocjonalną jest zdolność rozumienia, ale bardziej złożonych emocji, tzn. mieszanych, takich jak

„Wiedza emocjonalna poprzez nazywanie i rozumienie potrafi wprowadzać w nas porządek, wewnętrzną harmonię...”

miłość i nienawiść albo niechęć. Często mamy do czynienia z konglomeratami emocji. W związku z tym umiejętność rozróżniania ile w naszej reakcji jest leku, ile zniechęcenia, ile obawy, ile złości a ile innych emocji, jest cechą związaną z inteligencją emocjonalną. I ostatni wymiar inteligencji emocjonalnej to zdolność przewidywania zmian stanów emocjonalnych. Jest to umiejętność związana z naszym odbiorem różnego typu doświadczeń emocjonalnych np. taka, która mówi nam co mamy zrobić, jeśli jesteśmy rozczłosczeni, aby przejść z tego stanu do innej pozytywnej emocji. Albo co zrobić, aby ze stanu gniewu przejść np. do stanu wstydu,



bo powinniśmy się czasem wstydzić. Większość ludzi zaprzecza tej emocji i w związku z tym dokonuje różnego typu manipulacji intelektualnych, które są bardziej związane z inteligencją intelektualną niż emocjonalną – podczas gdy jednym z czynników związanych z rozumieniem własnych emocji jest czasami przyznanie się, nie tyle do winy, ile do tego, że ponosimy jakąś konsekwencję i odpowiedzialność za czyny i słowa, że zachowaliśmy się niestosownie. Wstyd jako zachowanie naturalne powinien być wyraźnie rozpoznany, zamiast tego często wykonujemy wtedy operacje umysłowe, które mają nas uchronić przed złą oceną przez innych, co powoduje, że przestajemy odczuwać prawdziwe emocje wstydu, zażenowania. Należą one do nieakceptowanych społecznie emocji obłożonych głównie lękiem. Umiejętność rozróżnienia tego lęku przed negatywnym odbiorem od odczuwania wstydu jest przejawem wewnętrznej odwagi, ale też inteligencji emocjonalnej. To wszystko co powiedziałem na temat inteligencji emocjonalnej jest rozbudowaną definicją

niegrzeczny, zachowuj się stosownie do tego co ci powiedziałem. To jest pierwsze, co wpływa na to, że jedni z nas lepiej funkcjonują emocjonalnie, a drudzy gorzej. Po drugie często mieliśmy do czynienia z różnego typu układami odniesienia, np. żyliśmy w takim środowisku rodzinnym i rówieśniczym, które bardzo upraszczało świat doznań emocjonalnych. Wyrazem tego jest język, który w niektórych środowiskach jest po prostu prymitywny. W różnych subkulturach do wyrażenia swoich emocji właściwie potrzebują pięciu-siedmiu słów niecenzuralnych. Do tego worka wrzucają wszystkie emocje, w związku z tym trudno jest dziwić się, że ich sposób funkcjonowania jest prymitywny, że nie rozpoznają różnego typu wartości, które też są związane z emocjami uwarunkowanymi kulturowo. Proces nabywania inteligencji emocjonalnej dla jednych był ułatwiony przez te oddziaływania rodzinne i środowiskowe a dla innych utrudniony – musieli więcej pracy włożyć ażeby lepiej rozpoznawać i wpływać na swoje emocje.

emocjonalnej potrafią te emocje rozpoznawać u siebie i u innych, ponieważ miały to szczęście, że żyli w takiej rodzinie, miały takich rodziców którzy dzielili się własnymi emocjami, nazywali je i na głos tłumaczyli to co się z nimi dzieje. To są prawdziwe lekcje inteligencji emocjonalnej w domu.

Czy można określić wiek, etap na którym przestajemy rozwijać inteligencję emocjonalną, czy może pracujemy nad nią do końca życia?

Niestety to jest sinusoida. To nie jest krzywa, która zmierza ku jakiemś maximum, w którym osiągniemy najwyższy poziom inteligencji emocjonalnej. Wiąże się to z różnego typu sytuacjami w naszym życiu, często kryzysowymi, spotykaniem różnych ludzi lub zmianą środowiska. Np. dzieci w wieku szkolnym nabywają umiejętności emocjonalnych, które obowiązują w subkulturach rówieśniczych i w niektórych miejscach potrafią łączyć doznawane emocje z rolami społecznymi. Jest to jedna z ważniejszych kompetencji emocjonalnych, która polega na tym, że pewne stany emocjonalne są wywoływane tzw. skryptami kulturowymi. Są to takie wzorce zachowania, również emocjonalnych, które pojawiają się w różnych kręgach społecznych. Mogą być różne np. w rodzinie, miejscach pracy, a także w różnych uczelniach. Na kształt tych skryptów kulturowych mają wpływ liderzy, tak jak różnią się między sobą osobowościami profesorowie, tak skrypty kulturowe w ich zespołach mogą być przez nich modyfikowane.

Wiedza i narzędzia jakie niesie ze sobą psychologia, z jednej strony mogą nam pomóc – posłużyć do samorozwoju, osiągnięcia stanu równowagi, ale z drugiej, użyte lub zrozumiane opatrnie, fałszują obraz nas samych. Gdzie kończy się terapia (praca nad sobą) a zaczyna manipulacja?

Wiedza psychologiczna bardzo często jest pobierana głównie z tego powodu – chęci manipulacji. Wiele osób nie rozróżnia wiedzy psychologicznej, która jako wiedza oparta jest na badaniach, faktach i tak jak czysta nauka jest bezstronna. Natomiast różnego typu publikacje o charakterze psychologicznym stwarzają złudzenie, że przekazują pewną wiedzę psychologiczną. W szczególności myślę tu o "milionie" poradników, których autorzy na podstawie fragmentów wiedzy budują własne albo intuicyjne, oparte na wąskim doświadczeniu życiowym, koncepcje dotyczące funkcjonowania



↑ Dr Leszek Mellibruda | fot: Ilona Sadowska

badaczy oraz tych, którzy zajmują się światem emocji.

Czy możemy zatem powiedzieć, że potrafimy z łatwością zafalszować emocje przed sobą samym ponieważ nie dajemy sobie prawa do popetniania błędów, chcielibyśmy być postrzegani przez innych tylko w pozytywnym świetle?

Niezupełnie. Ludzie jeśli chodzi o emocje są w dużym stopniu uwarunkowani, tzn. że nasz proces wychowania, wpływ naszych rodziców, którzy bądź pomagali nam w identyfikowaniu naszych uczuć i nazywaniu ich, podając konkretne określenia, albo też wrzucali wszystko do jednego worka – jesteś

Rozumiem, że z inteligencją emocjonalną się nie rodzimy, jest ona czymś co wykształcamy. Czyli może zdarzyć się też tak, że zostanie ona źle rozwinięta, zaburzona – rola środowisk, w których się rodzimy i wychowujemy wydaje się w takim razie ogromna.

Tak, badania wykazują, że już dzieci w wieku siedmiu-ośmiu lat potrafią wykazywać się umiejętnościami wynikającymi z inteligencji emocjonalnej a w szczególności potrafią rozróżnić odczuwanie kilku emocji jednocześnie. To tak często się zdarza, że nie odczuwamy jednej tylko kilka – co najmniej dwie lub trzy. Dzieci, które charakteryzuje wyższy poziom dojrzałości

# „To co przed nami, to uczenie się nowego spojrzenia na różnice generacyjne i zaakceptowanie, że w obrębie generacji wiekowej jest olbrzymia różnorodność zachowań oraz sposobów myślenia.”

człowieka, jego emocji itd. Przykładem mogą być setki publikacji na temat tzw. myślenia pozytywnego. Na szczęście to troszeczkę się zmienia bo psychologowie pokazali niebezpieczeństwa takiego totalnego zapatrzenia – myśl tylko w kategoriach pozytywnych. Jest dużo publikacji, które posługują się wiedzą psychologiczną, ale interpretują ją dowolnie, często niezgodnie z intencjami, bądź też nadinterpretując wyniki różnego typu badań i obserwacji. Stąd pojawiła się cała dyscyplina – psychologia pozytywna, która zajmuje się budowaniem stanów pozytywnego spojrzenia, optymistycznego rozumienia siebie, świata itd. Jest to dziedzina, która nie upraszcza, nie mówi w skrócie: myśl tylko w kategoriach pozytywnych, uciekaj od tych którzy są krytycznie nastawieni, nie bierz pod uwagę negatywnych aspektów, motywuj się wyłącznie pozytywnymi myślami – to w dłuższej perspektywie jest bardzo niebezpieczne dla życia. Ludzie, którzy czytają pseudo poradniki doraźnie czują się lepiej, ale wpadają w specyficzny rodzaj odrętwienia emocjonalnego, takiej znieczulicy na siebie i w efekcie czują się jeszcze bardziej zagubieni.

Zatem, czy można zafatyzować obraz samego siebie zagłębiając się w tego typu publikacje?

Można siebie źle odczytywać, ponieważ dla naszego samopoczucia i zarządzania sobą, stany subiektywne są równie ważne jak stany, które można zobiektywizować przez opinie innych. My mamy takie nastawianie, wynikające chyba z tego, że żyjemy w cywilizacji pędu, ażeby wszystko co się da, uprościć, na pytanie odpowiedzieć tak lub nie, poszufladkować w jak najmniej skomplikowany sposób. To w żaden sposób nas nie przybliża do zgłębienia, zrozumienia siebie, tylko uczy nas

powiedzmy takiego „klajstrowania” w tych szufladkach różnych emocji, z którymi nie nauczyliśmy się sobie radzić. Bardzo często uciekając przed lękiem, który narasta w różnych sytuacjach i jest naszym towarzyszem – cieniem psychicznym. Nie umiemy rozpoznawać kształtów tego cienia. Jest on nie tylko odbiciem naszej sylwetki, ponieważ nasze życie oświetlają reflektory z różnych stron, więc za nami – w sensie emocjonalnym – ciągnie się kilka postaci cienia. Rozpoznać te różne kształty to niezwykle istotne, a my chcemy jednak patrzeć skrótowo i wprost – jak cień, to jeden. A to nieprawda!

Przytoczę opis książki Charlesa Manza pt. „Dyscyplina emocjonalna”: „Miłość jest wyborem. Żywienie gniewu jest wyborem. Poddanie się depresji jest wyborem...”. O co tu chodzi? Gdzie są granice naszej kontroli? Czy faktycznie mamy aż taką władzę nad tym co się z nami dzieje?

To mądra myśl. Rzeczywiście dokonujemy takich nieświadomych wyborów, co wiąże się z pewnym dość uniwersalnym zjawiskiem w psychologii mianowicie, że każde nasze zachowanie i reakcja niesie jakąś korzyść – albo dla nas, albo dla otoczenia – pozytywną albo paradoksalnie negatywną. Korzyścią w pewnych okolicznościach – wiem, że dla niektórych czytelników to może być trudne do zaakceptowania – może być autodestrukcja. Niekiedy, w sytuacjach kiedy ludzie cierpią, podkreślam nie zawsze, może się okazać, że to cierpienie jest dla nich korzystne, ponieważ, upraszczając, nie muszą czegoś robić, zyskują zainteresowanie lub współczucie otoczenia itd. Są to paradoksalne korzyści, które czasem powodują, że ludzie nie mają siły i energii ażeby np. z tego cierpienia się wydobywać, podjąć próbę odejścia od cierpienia związanego z żalem, smutkiem, tego co ociera się o depresję, czy reakcję depresyjną – nie

mówię o chorobie. Ludzie czasem celowo wchodzą w rolę ofiary w relacjach prywatnych jak i służbowych. Również wszystkie inne stany dają nam różnego typu korzyści: emocjonalne, społeczne, intelektualne. Dotyczy to w szczególności tych ludzi, którzy budują obraz samego siebie w oparciu o zwierciadło społeczne, o to co inni o nich powiedzą. Takie osoby są szczególnie nastawione na odbieranie korzyści z różnego typu przeżyć i doświadczeń wewnętrznych

Możemy mówić o współistnieniu generacji/pokoleń X, Y, Z, jak można je scharakteryzować? Czy umieją ze sobą współpracować, współtworzyć – uzupełniają się czy zwalczają?

Nie widzę tego zjawiska bardzo optymistycznie. W większości przypadków nie widzę chęci współpracy, a raczej skłonność do izolacjonizmu pokoleń. Specjalnie mnie to nie dziwi, ponieważ nie jest to wyzwanie indywidualne każdego z nas, ale wyzwanie dla wszystkich tych którzy pełnią funkcje zarządcze, bo oni mogą kształtować pewne standardy traktowania różnych pokoleń. Mamy w tej chwili do czynienia z sześcioma pokoleniami równoległe:

- pokolenie major – ludzie urodzeni przed II Wojną Światową,
- baby boomers – osoby urodzone w latach 1946-1964, powojenne pokolenie wyżu demograficznego,
- generacja X – urodzeni pomiędzy 1965 a 1980 rokiem,
- generacja Y – urodzeni po 1980 i do 1990 roku,
- generacja Z – dwudziestoparolatkowie,
- generacja tsunami – nastolatkwowie.

Te sześć pokoleń żyje, albo ocierając się o siebie, albo unikając siebie, albo pod różnymi względami współpracując. Tam gdzie ludzie żyją w wielopokoleniowych rodzinach, tam wszyscy w jakiś sposób radzą sobie z odmiennosciami charakterystycznymi dla każdego z tych pokoleń. Oczywiście w każdym z tych pokoleń są osoby, które wyłamują się z pewnych wzorców generacyjnych. Mamy do czynienia z siedemdziesięcioparolatkami, którzy biegają w maratonach, dbają o swój wigor i zdrowie w taki sam sposób jak młodsze pokolenia. Zatem nie mówimy o zjawisku hermetyzowania się tych pokoleń, raczej mamy do czynienia z tym, że coraz większa grupa seniorów pokazuje, że wzorce i stereotypy myślenia o wieku w dzisiejszych czasach dla wielu osób są niewłaściwe i nie tylko mogą ich krzywdzić, ale też zniekształcać. Dzisiaj

sześcioletek może właśnie oceniać narodzin swojego dziecka, kobieta po pięćdziesiąt może mieć dużo młodszego od siebie partnera. To co przed nami, to uczenie się nowego spojrzenia na różnice generacyjne i zaakceptowanie, że w obrębie generacji wiekowej jest olbrzymia różnorodność zachowań oraz sposobów myślenia.

Od dwóch lat mam wykłady na uniwersytecie trzeciego wieku Haliny Schwartz. Rozmawiam z seniorami i przyglądam się ich postrzeganiu świata. Niewątpliwie są to ludzie, którzy nie pogodzili się ze schematem, że po sześćdziesiątce to już tylko można „przymierzać się do trumny”. Chcą się uczyć, poznawać. Nie tylko przychodzą na wykłady, ale również uczestniczą w wyjazdach, są ciekawi świata. Zmienia się myślenie o seniorach i seniorów o sobie. Często młodsze pokolenia bardziej stygmatyzują. Przypisują swoim rodzicom więcej stereotypowych cech starszych generacji, podczas gdyby dało się im szansę to prawdopodobnie takie osoby dalej by się rozwijały a ich życie byłoby bardziej urozmaicone. Znam takie przykłady kiedy siedemdziesięcioletka dała się namówić, aby wnuk nauczył ją nie tylko obsługi komputera, ale też pracy w Internecie, podczas gdy dla większości była to abstrakcja i wydawało się im, że babcia tego nie zrozumie.

Powinniśmy sobie powiedzieć, że wiązanie zachowań ludzi z wiekiem staje się anachroniczne. Ważniejsze są właśnie te zachowania, to co ludzie chcą robić i robią. Dlatego mówi się o tzw. generacji C. Charakteryzują ją cztery zasadnicze wspólne cechy niezależne od wieku: *control, creativity, communication, connection*. Są to takie zachowania, które związane są z wzmożoną potrzebą kontroli, również samokontroli, zorientowane na różnego typu przejawy twórczego zachowania i twórczego myślenia. Również zachowania, dla których istotne

jest komunikowanie z innymi ludźmi bezpośrednio, na odległość, za pomocą Internetu. Zachowania zorientowane na budowanie bardziej relacji niż więzi, na związku, które niekoniecznie muszą być spersonalizowane osobiście, tylko mogą być nawiązywane na odległość.

**Jak duże jest to pokolenie C?**

To trudno oszacować, ale mam wrażenie, że narasta liczba osób, które realizują ten model zachowania. Dzisiaj to generacyjne spojrzenie w dużym stopniu jest wypierane przez uniwersalizm wiekowy współczesnych generacji, które wiążą zachowanie a nie wiek.

Jerzy Stuhr w swojej książce pt.: „Tak sobie myślę...” napisał: ...nie można z pychą mówić: mam szczęście! Nic mi nie będzie! Ej... A może do wczoraj miałeś? A już dzisiaj go nie masz? Skąd to wiesz? I za każdy dzień tego szczęścia trzeba podziękować. Bo życie to jest takie pole minowe. Przeszedłeś kawałek? To podziękuj. I zrób następny krok. Jeden. Nie puszczaj się biegiem – jeden krok... Co Pan o tym sądzi?

Docenić wszystkie okoliczności i wszystko to co nam się pomyślnie układa jest niesłychanie ważne, ale mam takie poczucie, że jest to jeden z czterech wymiarów szczęścia wymienianych przez profesora Tatarkiewicza, tzn. jest to trochę aspekt związany z pomyślnym układem okoliczności życiowych, na które warto jest zwracać uwagę, wykorzystywać i cieszyć.

Tatarkiewicz podkreślił również – i jest to nadal aktualne - że doskonałość jest w osiągnięciu dobra, poczuciu, że jest się w czymś bardzo dobrym, albo najlepszym, co nie tyle wiąże się z rywalizacją, a raczej z satysfakcją. Jest to jeden z wymiarów szczęścia.

Trzeci wymiar to tzw. szczęście psychologiczne, trochę o nim mówi Stuhr. To jest wszystko to co sprzyja naszym stanom ukojenia lub euforii. W związku z tym czasami mówi się o takich szczytowych doznaniach, o *flow*, o ekstazie. Ludzie dążą też do tego wymiaru szczęścia ponieważ jest on głównie związany z doznaniem radości. Z doznaniem intensywnie przeżywanych uczuć. To jest właśnie ta szczęśliwość, ale to tylko jedna czwarta szczęścia wg Tatarkiewicza.

Czwarty wymiar, to dodatni bilans życia. Może być on autentycznym odzwierciedleniem szczęścia. Nie w tej postaci euforycznej, tylko związanej z czymś niesłychanie istotnym – jednym z warunków zdrowia psychicznego – poczuciem, że nasze życie ma sens. Że w naszym życiu realizowaliśmy ważne wartości.

Czy można powiedzieć, że to prawdziwe poszukiwanie i odczuwanie szczęścia powinno być związane z umiejętnością „zatrzymania się” na chwilę? Czy żyjąc w takim pędzie, który stał się dla wielu z nas stanem normalnym, nie przegapiamy czegoś? Czytając ten fragment książki J. Stuhra pomyślałam, że to trochę takie ostrzeżenie.

Jurek Stuhr podkreśla, że po pierwsze życie to pole minowe, po drugie, że po polu minowym się nie biega.

a my raczej po nim biegamy...

No właśnie. Po trzecie musimy pamiętać, że za szczęście trzeba podziękować tzn. że musi temu towarzyszyć pewna autorefleksja. W koncepcji tzw. „cebulowej teorii szczęścia” Janusza Czapińskiego wymienione są trzy podstawowe czynniki, bez których trudno jest mówić o szczęśliwym życiu. Do jądra cebuli zalicza Czapiński wolę życia, związaną z pragnieniem życia. Czyli nie chodzi o to, że mam po co i dla kogo żyć, to jest pragnienie życia dla realizacji różnych, a nie tylko posłanniczych wartości – chociaż oczywiście one też mogą podnosić wolę życia. Przykładowo rodzice, którzy poświęcają się dzieciom, nieświadomie ograniczają swoją wolę życia głównie dlatego, aby służyć pomocą i wychowywać dzieci. Wola życia wyraża się pewnymi postawami i poglądami dotyczącymi wartości i tego jak każdą chwilę – w odwołaniu do Stuhra – my definiujemy. To niezwykle ciekawe. Ostatnio pojawiły się takie badania, które pokazały, że to, w jaki sposób młodzi ludzie w swoich myślach, refleksjach i postawach traktują małżeństwo, dziecko, jako pojęcie a nie żywą istotę, ma wpływ na to czy dojdzie do małżeństwa, czy jeśli urodzi się dziecko, to w jaki sposób ci ludzie będą oceniać warunki życia w jakich przyszło im żyć. Okazuje się, że jeśli małżeństwo, lub dziecko stanowią wartość samą w sobie, to w trudnych sytuacjach potrafimy lepiej znieść stres, być bardziej szczęśliwi niezależnie od różnych przeszkód i trudności w małżeństwie czy w związku z wychowaniem dziecka. To oznacza, że ten wymiar woli życia wyrażający się w naszym stosunku do wartości i tego co jest sensem dla nas ma niesłychanie istotny wpływ na poczucie szczęścia. Drugi czynnik to tzw. dobrostan psychiczny, wszystko to co wiąże się z oceną jakości naszego życia jako całości. To również ocena najgorszego tygodnia w minionym miesiącu lub roku. Czy bardziej pamiętamy nasze kłopoty, czy sukcesy, radości, czy nadzieje. To jest nasz stosunek do nierealistycznego

UMIĘJĘTNOŚCI KONIECZNE  
W XXI WIEKU

POMYSŁOWOŚĆ

ZAPAMIĘTYWANIE

WYTRWAŁOŚĆ

ANALIZOWANIE DOŚWIADCZEŃ

OTWARTOŚĆ NA ZMIANĘ  
(PROAKTYWNOŚĆ)

optymizmu. Umiejętność dokonania bilansu pozytywnych i negatywnych doświadczeń. To są także sposoby funkcjonowania emocjonalnego oraz umiejętność radzenia sobie z tymi negatywnymi emocjami. To wszystko wpływa na nasz dobrostan psychiczny. Satysfakcje cząstkowe, czyli zadowolenie z kolejnych obszarów naszego życia. To są czynniki, które wg cebulowej teorii szczęścia składają się na to, czy jesteśmy mniej lub bardziej szczęśliwi.

różnych aspektów i stąd też taka różnorodności tematyki moich wykładów. Studenci piszą je z pasją. Nie jest to 'zaznacz - kopiuj - wklej'. To są często takie mini analizy różnych zagadnień. Co ciekawe nie ma wielkich protestów, więc kolejna rzecz, która charakteryzuje studentów Politechniki, to respektowanie pewnych norm, które ustaliśmy na początku zajęć.

Jeśli chodzi o studentów uczelni humanistycznych, przez sześć lat prowadzi-

między innymi doktorantami i pracownikami naukowymi. Trzeci zakres jest związany z wrażliwością i ciekawością świata, ludzi i innych bardziej uniwersalnych zagadnień.

W swoich wykładach omawia Pan bardzo szeroką tematykę. Wybrałam jakąś cząstkę, do której chciałam nawiązać. Myślenie konwergencyjne vs. myślenie dywergencyjne. Które lepsze w pracy naukowo-badawczej?

Zacząć należy od tego co rozumiemy przez te pojęcia, albo od czegoś jeszcze ważniejszego, mianowicie badacze zjawisk umysłowych i przekształceń futurystycznych naszej cywilizacji doszli do wniosku, że istnieje pięć umiejętności kluczowych, albo najważniejszych, które będą konieczne XXI i początkach XXII wieku. Do nich należy pomysłowość, zapamiętywanie, wytrwałość, umiejętność analizowania doświadczeń oraz otwartość na zmianę, przejawiająca się głównie w działaniach proaktywnych, tzn. wybiegających w przód, zapobiegających lub też zarządzających przyszłością. Tym umiejętnościom mogą towarzyszyć dwa style używania intelektu. W dużym stopniu charakteryzujemy je jako pewnego rodzaju stosowanie myślenia w dwóch zasadniczych kategoriach: myślenia twórczego i analitycznego. Nie oznacza to, że te style się wykluczają, ale niewątpliwie myślenie analityczne, a więc konwergencyjne, to myślenie jednokierunkowe. To takie operacje umysłowe, które w sytuacji problemowej zorientowane są na jedyne albo najlepsze rozwiązanie, najlepszą odpowiedź, takie które często przejawiają się w konstruowaniu sposobu myślenia nastawionym na testowanie rzeczywistości. Natomiast myślenie twórcze, dywergencyjne charakteryzuje wielokierunkowość, nastawienie na rozwiązywanie problemów w wielu możliwych wariantach i odpowiedziach. Jest to bardzo twórcze podejście, które czasami kłóci się z tym analitycznym. Dobrze jest o tym pamiętać dlatego, że u wielu osób istnieje przekonanie, że podejście kreatywne nie jest podejściem naukowym. A więc takie cechy konwergencyjnego myślenia jak: analityczność, dedukcja, sprawdzanie hipotezy, zamykanie ostrożne obserwacji, przesądzają często o jego liniowości. Natomiast w przypadku myślenia twórczego chodzi przede wszystkim o tworzenie hipotez, które są śmiałe przez to, że są otwarte na możliwości trudne do wyobrażenia. Czasem szuka się niejako na siłę takich okoliczności, które logika konwergencyjna odrzuca mówiąc nam, że nie mają prawa wystąpić. Myślenie



ZADANIE (czas do 5 min)  
posadź dziesięć kwiatków w czterech rzędach, po cztery kwiatki w każdym rzędzie

\* ćwiczenie wykonane przez uczestników wykładu dr. Leszka Mellibrudy na PW

Prowadził Pan w tym semestrze już kolejny wykład z zakresu psychologii, jakimi słuchaczami są studenci Politechniki? Czy wykształcenie techniczne powoduje odmienne podejście do psychologii niż u humanistów?

Generalnie studenci w Polsce są inni porównując z innymi krajami. Moje doświadczenia z zajęć, które prowadziłem na nowojorskim uniwersytecie Stony Brook pokazują diametralne różnice. Polegają one głównie na aktywności studentów podczas wykładów. Na Politechnice Warszawskiej osoby, które zadają pytania należą do nielicznych. Czasami są to te same osoby - „etatowi pytacze” - w większości są to studenci, którzy słuchają w milczeniu, ale mam też wrażenie, że w skupieniu. Czasami obserwuję audytorium, ilu słucha i jednocześnie korzysta z telefonu lub laptopa i muszę powiedzieć, że zdarza się to bardzo rzadko pomimo, że tego nie zabraniam. Uczestniczą do końca zajęć, które niestety czasami przedłużam, słuchając uważnie. Na podstawie esejów, które niektórzy piszą na zaliczenie, też mogę stwierdzić, że są to osoby, które słuchały. Te eseje są niezwykle ciekawe, najczęściej tematem jest to w czym psychologia może ci pomóc w życiu, lub w pracy. Wynika z nich, że zainteresowanie psychologią jest bardzo duże i dotyczy bardzo wielu

łem zajęcia w Wyższej Szkole Psychologii Społecznej, teraz to Uniwersytet. Tam również raczej milcząco przyswajali wiedzę, chociaż tak jak tu, zdarzało się że studenci przychodzili dopytywali albo nawet rozpoczynali dyskusję. Młodzi ludzie chcą poszerzać swoją wiedzę, konfrontować się z wątpliwościami, dylematami. Przychodzą też studenci, którzy chcą konfrontować swoją sytuację życiową w kontekście przekazywanej wiedzy psychologicznej.

Potwierdza to potrzebę wzbogacania oferty dydaktycznej uczelni o przedmioty humanistyczne. Brakuje takich tematów, które w moim odczuciu obok solidnej wiedzy technicznej pozwalają zdobyć pełne wykształcenie, poszerzyć horyzonty i lepiej przygotować do kolejnych etapów życia.

Tak, bardzo. Często doktoranci, a jest ich większość na zajęciach zgłaszają w bardziej indywidualnych rozmowach trzy obszary tematyczne. Jeden jest związany z pracą dydaktyczną - wyrażają zbyt słabe przygotowanie do nowoczesnego prowadzenia zajęć, seminariów oraz wykładów. Drugi to zainteresowanie związane z udoskonaleniem umiejętności radzenia sobie w sytuacjach międzyludzkich dotyczących atmosfery pracy, trudnej osobowości szefa danej jednostki oraz tak jak w wielu korporacjach klimatu i atmosfery

twórcze jest często syntetyczne, indukcyjne, odwołuje się do niesformalizowanych zjawisk, które jeszcze nie zostały opisane, albo nie mają właściwie związku z tym co robimy, co badamy. Te dwa podejścia niosą ze sobą pewne konsekwencje, bowiem w myśleniu logicznym jest zawarta nadmiernie rozwinięta powściągliwość oraz podejrzliwość dotycząca nowości. Często odruchem jest podążanie znanymi ścieżkami.

Potrzeba przestrzegania reguł prowadzi do konformizmu. W myśleniu twórczym, które przypomina otwarty umysł badacza, najważniejsza jest ciekawość, nieeliminowanie domysłów, a nawet bawienie się nimi, również docenianie intuicji i poszukiwanie niekonwencjonalnych sposobów rozwiązywania, które cechuje nonkonformizm, a do tego trzeba mieć odwagę i odporność. Osoby, które potrafią myśleć twórczo nie martwią się, gdy nie mają racji. Natomiast ci bardzo logiczni przeciwnie, zamartwiają się i szukają kolejnych argumentów, których czasami po prostu brakuje. Optymizm często charakteryzuje twórcze myślenie bo logiczne bardziej zorientowane jest na identyfikację trudności. Stąd też przywiązanie do schematycznego myślenia. W myśleniu twórczym w dużym stopniu wolne i szybkie skojarzenia prowadzą do gry intelektualnej, co jest wykluczane przez myślących konwergencyjne. Bawienie się procesem poznania charakteryzuje umysły twórcze, wymaga akceptacji i lubienia sytuacji, które zawierają zaskoczenie. Konwergenci koncentrują się na zachowaniu uwagi, unikaniu niespodzianek i opieraniu na tym co znane.

Myślenie logiczne może mieć zastosowanie w wielu przypadkach i w pewnych okolicznościach jest równie dobre, natomiast kiedy są problemy, które

wymagają giętkości myślenia, dostosowania metod, rozwiązywania problemów, różnych zastosowań itd. które wymagają oryginalności i płynności myślenia to u logicznie myślących będzie to kłopotliwe.

Mówiąc o psychologii myślenia twórczego poruszał Pan ze studentami temat niekonwencjonalnych metod uczenia się. Dlaczego powinniśmy poszukiwać takich metod?

Istnieją pewne niekonwencjonalne metody. Taką najbardziej znaną jest tworzenie map myśli, które zapoczątkował Tony Buzan.

W niektórych zespołach, które dbają nie tylko o wymiar tradycyjny, w którym tylko logika i twarde fakty liczą się w nauce, duży nacisk jest położony również na twórcze myślenie. W niektórych ośrodkach badawczych stosuje się takie treningi kreatywnego myślenia, gdzie zarówno mapy myśli jak i te inne niestandardowe metody jak RQRST i SQ3R są trenowane przez młodych naukowców jako pewnego rodzaju wprawki intelektualne, które mają pomóc w zgłębianiu problemów.

Jako kobieta muszę zadać to pytanie. Kobiety-naukowcy stanowią mniejszość w dziedzinach określanych jako STEM (*science, technology, engineering, mathematics*). Co, według Pana, wpływa na taki stan rzeczy? Czy zjawisko określane efektem Matyldy jest wciąż silne?

Jest kilka wątków. Taki, który wiąże się z kreatywnością, która nie ma płci, jednak stereotypy i scenariusze związane z rolami dotyczącymi płci mogą wpływać na kreatywność i jakość wykorzystywania zasobów intelektualnych. Pewne style myślenia mogą wiązać się z pewnymi cechami wynikającymi z płci, ale jest za mało dowodów eksperymentalnych, żeby faktycznie potwierdzić odrębność.

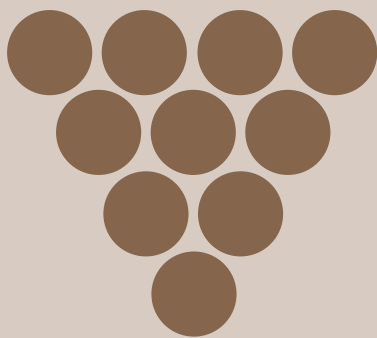
Gęstość substancji białej mózgu różni przede wszystkim płeć mózgu a wszystkie pozostałe kwestie są dyskutowane jako hipotetyczne. Wszystkie książki, z których wynika, że kobiety i mężczyźni są z innych planet, są w dużym stopniu fantazją naukowo niepotwierdzoną aż w takim stopniu żeby można było mówić o tak radykalnych różnicach. Niewątpliwie istnieją cechy związane z płcią mózgu, bo biologia na to wskazuje, ale to wymaga badań. Dotychczasowe wyniki nie upoważniają do takich ostrych podziałów. I to tyle jeśli chodzi o ten wątek.

Istnieje jeszcze wątek dotyczący efektu Matyldy. Ta niereprezentatywność płci w zawodach naukowych i niedocenywanie osiągnięć kobiet niestety ciągle jeszcze jest dość rozpowszechnione w wielu środowiskach naukowych. W dużym stopniu dotyczy to mentalności i stereotypowego myślenia o płci. Odnosi się to do pewnego kulturowo-historycznego trendu bo właściwie uważa się, że na przełomie XIX i XX wieku dochodzi dopiero do takiego przełomu w traktowaniu kobiet jako partnerów intelektualnych mężczyzny. Niestety przyczynił się do tego znany psycholog Zygmunt Freud, który kwalifikował ambicje zawodowe i naukowe jako przejaw zazdrości kobiet o penisa i to wyraźnie publikował. Z kolei znany brytyjski psychiatra James Crichton-Browne nawet wyodrębnił nowe zaburzenie psychiczne, które miało występować wyłącznie u kobiet - *anorexia scholastica*, czyli coś co jest skutkiem nadmiernie intensywnej edukacji u kobiet. Przypadłość ta miała się charakteryzować zaburzeniami odżywiania, melancholią, nawracającymi bólami głowy. Pokazuje to, że obciążenia kulturowo-cywilizacyjne, związane również ze znanymi postaciami psychologii i psychiatrii, powodowały, że to partnerstwo i docenianie możliwości umysłowych były obciążone stereotypowym myśleniem. Błędne myślenie pogłębiało społeczne przeświadczenie, że umysł kobiety jest, nie tyle inny, co gorszy. Jeżeli ci psychologowie i psychiatrzy mieli do czynienia z kobietami, które dorównywały lub przewyższały ich intelektem to automatycznie deprecjonowali ich osiągnięcia.

Chciałbym tu przytoczyć takie ciekawe badania. Na Stanowym Uniwersytecie w Ohio Silvia Knobloch-Westerwick przeprowadziła eksperyment stwierdzający ten efekt Matyldy. Wzięło w nim udział 243 magistrantów i doktorantów. Przedstawiono streszczenia pewnych materiałów, a następnie proszono

↓ Twórcze, niekonwencjonalne metody uczenia się

R Q R S T	
REREVIEW	początkowe uzyskanie ogólnego rozeznania w tekście
QUESTIONS	sformułowanie pytań
READING	przeczytanie tekstu
SUMMARIZE	streszczenie tekstu (materiału)
TEST	sprawdzeniu, co zapamiętałem, zrozumiałem, nauczyłem się
S Q 3 R	
SURVEY	zdobycie ogólnej orientacji
QUESTIONS	sformułowanie pytań, czego chciałbym się dowiedzieć, poznać, nauczyć
READING	przeczytanie, zapoznanie się
RECITING	zrelacjonowanie
REVISING	kontrolne przejrzanie zawartości



ZADANIE (czas do 3 min)  
odwróć trójkąt przesuwając tylko trzy koła

\* ćwiczenie wykonane przez uczestników wykładu dr. Leszka Mellibrudy na PW

o ocenienie tych streszczeń. Okazało się, że te same abstrakty były oceniane różnie w zależności od tego, czy podpis wskazywał na to, że autorem jest kobieta czy mężczyzna. Efekt Matyldy nasilał się, gdy temat stereotypowo przypisany był jednej płci. Ciekawe było to, że wśród czynników, które wpływały na tą ocenę jako podstawowy wyróżniono konserwatyzm. Sprzyja on pogłębianiu różnic, a więc także efektowi Matyldy.

Mówiąc o efekcie Matyldy wspomnę również o efekcie św. Mateusza. Wyraża się on w nadinterpretacji osiągnięć osób, które są na szczycie akademickiej hierarchii, najczęściej są to mężczyźni. Odnosi się do cytatu z ewangelii, św. Mateusz powiedział: *Każdemu bowiem, kto ma, będzie dodane, tak że nadmiar mieć będzie. Tému zaś, kto nie ma, zabiorą nawet to, co ma.* (Mt 25, 29). Trzeba pamiętać o tym, że te dwa efekty często są ze sobą powiązane. To takie „niechciane małżeństwo”.

Jeden z Pańskich wykładów na Politechnice był zatytułowany „Psychologiczny koktajl na lepsze „trawienie” życia”. Co powinno się znaleźć w tym leczniczym koktajlu? Czy na zakończenie naszej rozmowy może nam Pan podać jakiś „przepis”?

Cykl Psychologiczny koktajl na lepsze „trawienie” życia, a właściwie może powinno być na lepsze trawienie świata, składał się z siedmiu tematów, rzeczywiście jak w koktajlu, odnoszących się do bardzo różnych aspektów, które mają służyć podnoszeniu jakości naszego życia i radzeniu sobie z różnego typu sytuacjami. Omawiałem tam związek intelektu z sukcesem, gdzie pokazywałem, że często nie ma związku pomiędzy wysokim IQ a osiągnięciami w życiu. Mówiłem również o niuansach wpływu ludzi na siebie, kiedy omawiałem okno Johari, które opisuje obszary ukryte przed innymi, ale również przed

nami samymi. To były takie narzędzia lepszego rozpoznawania i radzenia sobie w życiu. Inna strona to wymiar nieprzewidywalności tego co się dzieje w naszym życiu i na świecie - efekt czarnego łabędzia Nassima Taleba. Można tu mówić o pewnej ślepoty na prawdopodobne zdarzenia, które trudno przewidzieć, a ludzie, w związku z mitem pozytywnego myślenia, unikają ich żeby nie przerodziły się one w czarownictwo. To ważne, aby unikać czarownictwa, ale jednocześnie realistycznie patrzeć na siebie, świat i ludzi, bowiem to też jest związane z umiejętnością życia. Podkreślałem różnego typu dylematy związane z uczciwością w relacjach, biznesie. Wskazywałem na niezwykle istotne znaczenie subiektywnych wymiarów poczucia sprawności i związane z tym osobowości zaburzone (osobowość z pogranicza - *borderline* - stanowi około 20% naszego społeczeństwa). Wpływ na innych ludzi często związany jest z manipulacją i są tacy, którzy mają taki odruch umysłowy, aby wywęszyć naszą piętę achillesową, bo każdy człowiek ją ma. Jednym z mechanizmów jest manipulacja, która nie zawsze polega tylko na poniżeniu, czasami chodzi o podporządkowanie - submisję - omawiałem w jaki sposób bronić się przed władczymi

manipulatorami bo jest ich dużo i można powiedzieć coraz więcej. Problematyka tych wykładów odpowiadała oczywiście wybranym aspektom, które mają wpływ na lepszą jakość naszego życia. Kryterium doboru zagadnień była chęć rozbudzenia ciekawości studenta i wskazania szczególnie tych obszarów, na które na co dzień nie zwracamy uwagi.

W takim razie, na co zwróciłby Pan nam szczególną uwagę? Jak radzić sobie z współczesnym światem żeby w zalewie informacji, ciągłym pośpiechu, konieczności istnienia w Internecie, nie pogubić się i żyć w harmonii? Czy gdzieś powinniśmy być szczególnie ostrożni?

Ostrożność jest dzisiaj taką cechą, która bardzo szybko przekształca się w paranoidalność, czyli nadmierną podejrzliwość. Choć oczywiście jest ważna, nie wymieniałbym jej jako najważniejszej. Zwróciłbym uwagę na umiejętność rozpoznawania, gdzie się zaczynam i gdzie się kończę, gdzie kończy się moje niezależne myślenie, a gdzie potrzebuję wsparcia innych ludzi. Oznacza to pewną umiejętność wyważenia, harmonii, zrównoważenia różnego typu wpływów zewnętrznych oraz tego co w nas samych wpływa na nas w postaci niechcianych bądź nieodkrytych skamielin przeszłości. Zatem w dzisiejszych czasach niezwykle ważną umiejętnością jest poszukiwanie zrównoważenia w tym co na nas działa a w szczególności w tym co wydaje się w świecie wartości dominuje tj. orientacji na być albo orientacji na mieć. Czy bardziej być i doceniać wartości duchowe same w sobie, czy też bardziej orientację na mieć; mieć jak najwięcej, pieniędzy, doświadczeń, wrażeń laików itd. Myślę, że w wymiarze psychologiczno-filozoficznym to jest najważniejszy obszar, na który należy zwracać uwagę.

Z dr. Leszkiem Mellibrudą  
rozmawiała Małgorzata Żelińska

{ Dr Leszek Mellibruda, psycholog społeczny i biznesu, autor 80 publikacji naukowych i ponad 250 publikacji popularnonaukowych. Oprócz prowadzenia szkoleń zajmuje się m.in. konsultingiem i promocją psychologii w TVP-Info, POLSAT-Wydarzenia, TVN BIŚ. Przez 2 lata był także współautorem cotygodniowej audycji Psychologia Biznesu – w radiu TOK FM. Od 2014 roku jest wykładowcą Centrum Studiów Zaawansowanych PW. Do chwili obecnej zrealizował 54 wykłady w 7 cyklach z zakresu psychologii dla studentów i doktorantów PW }

# Rola chemii w projektowaniu zaawansowanych tworzyw ceramicznych i kompozytów

Ceramika zaawansowana na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej

Ceramika towarzyszy człowiekowi od niepamiętnych czasów. Znane są wyroby wykonane z wypalanej gliny datowane na 30-50 tysięcy lat p.n.e. Obecnie terminem „ceramika” określa się wszystkie materiały nieorganiczne i niemetaliczne, które otrzymane zostały w wyniku procesu ceramicznego polegającego na tym, że drobnoziarniste proszki ceramiczne formuje się w żądany kształt i kształt ten utrwała się w procesie wypalania w wysokiej temperaturze zależnej przede wszystkim od rodzaju proszku ceramicznego, jego uziarnienia, dodatków ułatwiających spiekanie, itp. Temperatura wypalania tworzyw ceramicznych waha się na ogół w zakresie 900-2200°C [1].

Ceramikę do początku XX wieku można traktować jako rodzaj wyspecjalizowanego rzemiosła, z uwagi na fakt, iż w procesie technologicznym wykorzystywała głównie surowce mineralne o skomplikowanym składzie i budowie chemicznej takie jak gliny, kaoliny czy piaski kwarcowe. W owym czasie nie znano przecież jeszcze wielu zaawansowanych metod badawczych takich jak spektroskopia w podczerwieni, magnetyczny rezonans jądrowy czy też badania z udziałem skaningowej

czy transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Szczególnie szybki rozwój nowoczesnej ceramiki nastąpił w czasie II wojny światowej, a w szczególności pod koniec lat 50-tych XX wieku, gdy rozpoczęła się era podboju kosmosu i wyścig zbrojeń. Nie byłoby to możliwe bez nowoczesnych materiałów ceramicznych o odpowiedniej odporności termicznej i chemicznej oraz odpowiednich parametrach elektrycznych, magnetycznych czy dielektrycznych.

Nauczanie podstaw technologii ceramiki na Wydziale Chemicznym PW ma już bardzo długą tradycję sięgającą początków Politechniki Warszawskiej i Wydziału Chemicznego. W roku akademickim 1830/31 w konspekcie wykładu z technologii chemicznej prowadzonej przez prof. S. Zdzitowieckiego napisano:

*„Kurs chemii specjalnej, obejmujący wyroby, któreby można ogólnem wyrażeniem wyrobów hutniczych oznaczyć, zawierać będzie kilka oddziałów, z których każdy zostanie poświęconym odmiennemu rodzajowi fabrykatów i sposobów ich produkcji – zajmuje on wytopianie metalów w wielkich ilościach, czyli tak nazwaną Metalurgią, fabrykacją szkła, kryształów, porcelany i fajansów, zarazem dołączy się nauka o cementach wapiennych.”*



↑ Rys. 1. Wpływ procesu ceramicznego na parametry wyrobu

{23}

Tworzywa ceramiczne tradycyjne dzieli się na dwie grupy: ceramikę tradycyjną i ceramikę zaawansowaną. Terminem „ceramika tradycyjna” określane są wyroby wytwarzane z minerałów ilastych (gliny, kaoliny), natomiast terminem „ceramika zaawansowana” określane są wyroby produkowane z surowców o dużej czystości, głównie drobnoziarnistych proszków (średnia wielkość ziarna poniżej 1µm) o odpowiednim rozkładzie, wielkości i kształcie ziaren. Do grupy tej należą wyroby z  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $Si_3N_4$ ,  $AlN$ ,  $SiC$ , czyli wyroby z tlenków, azotków, węglików, borków, krzemków, itp. oraz wyroby z takich związków jak ferryty, perowskity, tytaniany, spinele, itd. Podstawowe różnice pomiędzy ceramiką tradycyjną i ceramiką zaawansowaną przedstawiono w tab.1.

Proces ceramiczny składa się z trzech etapów, a mianowicie przygotowania surowca (proszku ceramicznego), formowania i spiekania. Każdy z tych etapów ma istotny wpływ na końcowe parametry gotowego wyrobu ceramicznego, co schematycznie zilustrowano na rys. 1.

W projektowaniu i otrzymywaniu zaawansowanych tworzyw ceramicznych



↓ Tab. 1. Podstawowe różnice pomiędzy ceramiką tradycyjną a ceramiką zaawansowaną

Ceramika „tradycyjna”	„Nowoczesna” ceramika techniczna
Ceramika krzemianowa np. porcelana	Ceramika tlenkowa i beztlenkowa np. tlenki, węgliki, azotki, borki
Surowce naturalne o uziarnieniu mikrometrycznym	Syntetyczne proszki o uziarnieniu nanometrycznym
Stosowanie „plastycznych” składników surowcowych	Stosowanie całej gamy dodatków organicznych jak np. spoiwa, upłynniacze, flokulanty, enzymy
Temperatura spiekania 1250 – 1450°C	Temperatura spiekania 1500 – 2100°C

szczególną rolę odgrywa szeroko rozumiana chemia, w tym nie tylko chemia nieorganiczna czy krystalochemia, ale także chemia organiczna czy chemia polimerów. Generalnie mówiąc, nauki podstawowe takie jak chemia, fizyka, matematyka czy mechanika stanowią podstawę projektowania zaawansowanych tworzyw ceramicznych.

### Proszki ceramiczne stosowane w otrzymywaniu zaawansowanych tworzyw ceramicznych

Do otrzymywania zaawansowanych tworzyw ceramicznych wykorzystywane są proszki o wymiarze mikrometrycznym, proszki sub-mikrometryczne o wymiarze ziaren  $\leq 0,5\mu\text{m}$  oraz nanoproshki o wymiarze ziaren  $<100\text{ nm}$ . O ile różnego typu urządzenia rozdrabniające umożliwiają rozdrobnienie materiału do wielkości cząstek rzędu kilku mikrometrów (na ogół nie mniejszej niż  $0,5\mu\text{m}$ ), to do otrzymywania proszków o wielkości cząstek rzędu dziesiątych czy nawet setnych części mikrometra służą metody specjalne, w tym stosowane od lat tzw. mokre metody chemiczne. Metody te pozwalają na otrzymanie proszków ceramicznych nie tylko o znacznie mniejszych rozmiarach, ale także o wyraźnie mniejszym zróżnicowaniu wielkości cząstek w porównaniu do proszków mielonych i o większej czystości. Do najważniejszych tego typu metod należą:

- Metoda współstrącania
- Metoda zol żel
- Synteza płomieniowa (*Flame spray synthesis* - FSS)
- Synteza drogą samorozprzestrzeniających się reakcji chemicznych (*Self Propagating High Temperature Synthesis* - SHS)

Na temat wyżej wymienionych metod otrzymywania różnego typu proszków ceramicznych (tlenki, azotki, węgliki, borki, itd.) istnieje bardzo bogata literatura specjalistyczna [2-4].

Podstawowym jednak problemem uniemożliwiającym wykorzystanie tego typu proszków do otrzymywania

materiałów o bardzo dobrych właściwościach jest ich tendencja do aglomeracji. Proces ten uniemożliwia otrzymanie materiałów o wysokim stopniu zagęszczenia, a więc także o odpowiednio dużej wytrzymałości mechanicznej. Wynika to z faktu, iż podczas procesu spiekania małe pory pomiędzy cząstkami proszku w aglomeratach zanikają stosunkowo wcześniej w procesie spiekania, co prowadzi do skurczu takiego aglomeratu. Skutkiem tego jest wzrost wielkości porów pomiędzy aglomeratami, czego konsekwencją jest brak zagęszczenia materiału z makroskopowego punktu widzenia. Schematycznie przedstawiono to na rys. 2.

W Zespole Ceramiki Zaawansowanej Wydziału Chemicznego PW od wielu lat prowadzone są prace nad procesem deaglomeracji nanoproshków ceramicznych z wykorzystaniem mono-, di- i oligosacharydów [5] lub innych metod [6]. Deaglomeracja proszków, a w szczególności nanoproshków, jest podstawowym i nieodzownym etapem umożliwiającym uzyskanie materiałów o odpowiedniej gęstości, wytrzymałości mechanicznej czy o innych parametrach, jak np. parametrach elektrycznych, magnetycznych, itd. Proces ten jest także podstawą formowania materiałów ceramicznych metodami 2D czy 3D intensywnie rozwijanych w zespole badawczym autora tego artykułu.

### Wybrane metody formowania zaawansowanych tworzyw ceramicznych i kompozytów

Formowanie jest jednym z najważniejszych etapów procesu wytwarzania wyrobów ceramicznych, w którym wyjściowy materiał ceramiczny zostaje przekształcony w zwarty, zagęszczony półprodukt o określonej geometrii i mikrostrukturze. Uformowany element jest następnie poddawany procesowi spiekania w wysokich temperaturach, pod wpływem którego uzyskuje on właściwości typowe dla tworzyw ceramicznych. Obróbka mechaniczna wyrobów ceramicznych po procesie spiekania jest skomplikowana

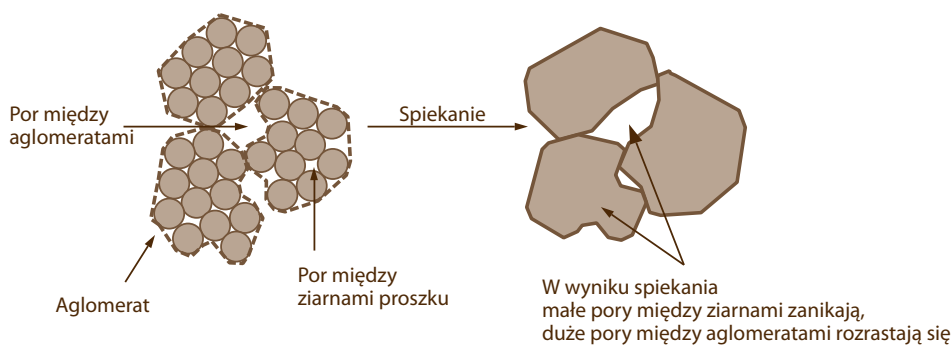
i kosztowna. Konieczne jest więc odpowiednio dobranie metody formowania tak, aby uformowany półprodukt po spiekaniu był możliwie najbliższy gotowemu wyrobowi pod względem kształtu i wymiarów. W przemyśle ceramicznym stosuje się wiele metod formowania. Wybór metody formowania wyrobów zależy przede wszystkim od ich wymiarów, kształtu, tolerancji wymiarowych, założonej mikrostruktury i tekstury, charakteru powierzchni po uformowaniu oraz od niezbędnej powtarzalności tych parametrów, a także od spodziewanej wielkości produkcji. W obrębie formowania wyrobów tzw. ceramiki specjalnej lub ceramiki zaawansowanej można wyróżnić następujące, najbardziej rozpowszechnione metody formowania ujęte w trzy grupy technologiczne:

- formowanie z mas sypkich (zawartość wody lub innego rozpuszczalnika 2-6%)
- formowanie z mas plastycznych (zawartość wody lub innego rozpuszczalnika 13-30%)
- formowanie z mas lejnych (zawartość wody lub innego rozpuszczalnika  $>30\%$ )

Do metod formowania z mas sypkich należą prasowanie jednoosiowe i prasowanie izostatyczne, natomiast do metod formowania z mas plastycznych należy wytłaczanie z pasma i wtrysk. Do metod z wykorzystaniem ceramicznych mas lejnych należą przede wszystkim odlewanie z gęstwy, odlewanie folii (*tape casting*) i odlewanie żelowe (*gelcasting*).

O ile w przypadku surowców zawierających w swoim składzie minerały ilaste, do uzyskania odpowiednich właściwości reologicznych umożliwiających nadanie wyrobom z tych surowców odpowiedniego kształtu, wystarczy dodatek na ogół tylko wody, to w przypadku proszków stosowanych w ceramice zaawansowanej konieczny jest dodatek odpowiednich związków organicznych lub polimerowych spełniających rolę upłynniacza, spoiwa, plastyfikatora, środka powierzchniowo-czynnego, itp. Budowa chemiczna i ich właściwości powinny być tak dobrane, aby przy ich minimalnym dodatku, uzyskać odpowiednie właściwości kształtek w stanie surowym jak i po procesie spiekania.

Od ponad dwudziestu lat na Wydziale Chemicznym prowadzone są zaawansowane badania nad projektowaniem,



← Rys. 2. Schematyczne przedstawienie procesu spiekania zaaglomerowanych nanoproshków ceramicznych



↓ Tab. 2. Porównanie podstawowych właściwości polimerowych spoiw wodorozpuszczalnych i wodorozcieńczalnych

Spoiwa wodorozpuszczalne	Spoiwa wodorozcieńczalne
Wzrost lepkości wraz ze wzrostem ciężaru cząsteczkowego	Lepkość nie zmienia się ze wzrostem ciężaru cząsteczkowego
Niskie stężenie spoiwa polimerowego w wodzie (2-10 % wag.)	Wysokie stężenie spoiwa polimerowego w wodzie (30-50%)
Zakres ciężaru cząsteczkowego (na ogół poniżej 200 000) - mała wytrzymałość na rozciąganie	Zakres ciężaru cząsteczkowego (400 000-800 000) - duża wytrzymałość na rozciąganie
Wrażliwość na adsorpcję wody	Niewrażliwość na adsorpcję wody

↓ Tab. 3. Właściwości folii ceramicznych z  $Al_2O_3$  otrzymanych metodą *tape casting* formowanych z udziałem wodorozcieńczalnych spoiw akrylowo-styrenowych o różnych właściwościach amfifilowych (dodatek spoiwa 6,5% wag. w stosunku do fazy stałej) [7]

Spoiwo	Temperatura zeszklenia Tg [°]	Kąt zwilżania $Al_2O_3$ [°]	Elastyczność	Wytrzymałość na rozrywanie [kPa]
<b>L25</b> $CH_3(CH_2)_n(OCH_2CH_2)_mOCH_2CH(OH)CH_2OC(=O)CH=CH_2$ $n = 15-21 \quad m \sim 25$				
Bez grupy -COOH + amfifilowy makromonomer (6,5%)	-16,8	26	Sztywna	<10
Z grupą -COOH + amfifilowy makromonomer (5%)	-7,6	20	Elastyczna	56
Z grupą -COOH + amfifilowy makromonomer (1,5%)	+1,8	26	Elastyczna	65
<b>K 50</b> $CH_3(CH_2)_nCH=CH(CH_2)_mOCH_2CH(OH)CH_2OC(=O)CH=CH_2$ $n + m = 15$				
Z grupą -COOH + lipofilowy makromonomer (5%)	-1,2	41	Bardzo sztywna	<10

↓ Tab. 4. Właściwości folii w stanie surowym i po spiekaniu w 1550°C/1h otrzymane z dodatkiem spoiw zawierających w swoim składzie grupy karboksylowe oraz odpowiednią ilość amfifilowego makromonomeru [7]

Spoiwo	Przed spiekaniem		Po spiekaniu w temp. 1550°C/1h		
	Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	Gęstość względna [%]	Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	Gęstość względna [%]	Porowatość otwarta [%]
z grupą -COOH + amfifilowy makromonomer (5%)	1,99	50,8	3,25	83,0	7,45
z grupą -COOH + amfifilowy makromonomer (1,5%)	2,47	60,3	3,83	97,8	0

syntezą i zastosowaniem organicznych i polimerowych dodatków modyfikujących właściwości reologiczne ceramicznych mas lejnych służących do otrzymywania różnego typu materiałów z tlenków, azotków, węglików oraz kompozytów.

**Nowe spoiwa polimerowe w procesie formowania zaawansowanych tworzyw ceramicznych**

Generalnie, spoiwa polimerowe stosowane w technologii ceramiki można podzielić na dwie grupy: spoiwa

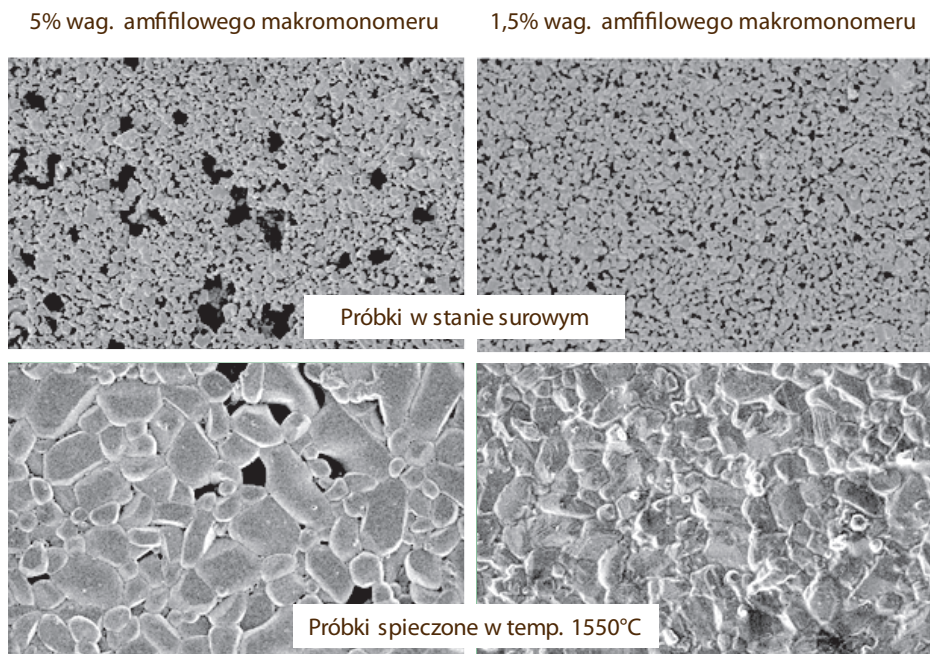
rozpuszczalne w wodzie i spoiwa rozpuszczalne w różnego typu rozpuszczalnikach organicznych. Najczęściej stosowanym rozpuszczalnikiem jest woda, najtańszy i najlepszy rozpuszczalnik, także z ekologicznego punktu widzenia. Spoiwa na bazie wody dzielone są na dwie grupy: spoiwa wodorozpuszczalne i wodorozcieńczalne. Porównanie właściwości tych spoiw przedstawiono w tabeli 2.

Spoiwa takie o odpowiednio zaprojektowanych na etapie syntezy właściwościach amfifilowych stosowane są praktycznie we wszystkich metodach formowania zaawansowanych tworzyw ceramicznych. Przykładowe właściwości folii ceramicznych z  $Al_2O_3$  otrzymanych metodą *tape casting* przedstawiono w tabeli 3.

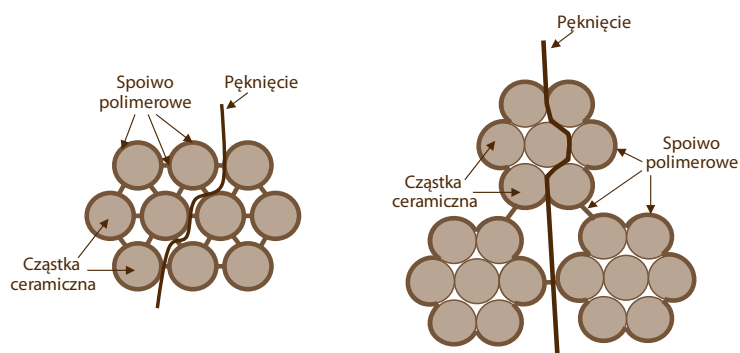
Jak wynika z tab. 3, pomimo iż temperatura zeszklenia wszystkich czterech spoiw jest znacznie niższa od temperatury pokojowej, to jedynie folie ceramiczne otrzymane z dodatkiem spoiw zawierających w swoim składzie grupy karboksylowe oraz odpowiednio ilość amfifilowego makromonomeru były elastyczne i przydatne do dalszych zastosowań. Po wypaleniu kształtek otrzymanych z takich folii w temperaturze 1550°C/1h okazało się, że jedynie kształtki otrzymane z folii z dodatkiem spoiwa, w którym było 1,5% amfifilowego makromonomeru, charakteryzowały się wysokim stopniem zagęszczenia w stanie surowym i po spiekaniu, co przedstawiono w tabeli 4 [7].

Na rys. 3 przedstawiono porównanie mikrostruktury folii w stanie surowym i po procesie spiekania otrzymanych z dodatkiem spoiw o składzie przedstawionym w tab. 4. Jak widać ze zdjęć uzyskanych w skaningowym mikroskopie elektronowym, mikrostruktura folii otrzymanej z udziałem spoiwa akrylowo-styrenowego zawierającego w swoim składzie 1,5% wag. amfifilowego makromonomeru, w odróżnieniu od folii zawierającej 5% wag. takiego makromonomeru, była równomiernie zagęszczona zarówno w stanie surowym jak i po procesie spiekania.

Przyczyną tak różnych właściwości folii otrzymanych metodą *tape casting* są amfifilowe właściwości zastosowanego spoiwa (odpowiedni stosunek długości części hydrofilowej do części hydrofobowej w łańcuchu polimerowym). Spoiwo zawierające 1,5% wag. amfifilowego makromonomeru prawdopodobnie znacznie lepiej wnika pomiędzy poszczególne cząstki proszku w odróżnieniu od spoiwa zawierającego 5% wag.



↑ Rys. 3. Mikrostruktura folii surowej i po procesie spiekania w 1550°C/1h otrzymanej z dodatkiem spoiwa zawierającego 5% wag. i 1,5% wag. amfilowego makromonomeru



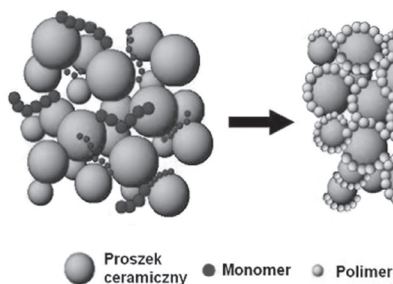
↑ Rys. 4. Mikrostruktura folii surowej i po procesie spiekania w 1550°C/1h otrzymanej z dodatkiem spoiwa zawierającego 1,5% wag. (A) i 5% wag. (B) amfilowego makromonomeru

takiego makromonomeru co schematycznie przedstawiono na rys. 4.

### Nowe monomery w procesie formowania zaawansowanych tworzyw ceramicznych o skomplikowanym kształcie metodą odlewania żelowego (*gelcasting*)

*Gelcasting* jest to kombinacja tradycyjnej metody formowania materiałów ceramicznych z gęstw odlewniczych w połączeniu z reakcją polimeryzacji.

Została ona opatentowana w 1991 roku w USA. W trakcie badań przetestowano blisko 150 różnego typu substancji. Efektem prac było wytypowanie akryloamidu, który po przeprowadzeniu reakcji polimeryzacji wewnątrz masy lejnej, pozwalał na otrzymywanie sztywnego i wytrzymałego mechanicznie odlewu ceramicznego. Metodę tę wykorzystywano w formowaniu łopatek i turbin z  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , które miały być zastosowane w wojskowych oraz



↑ Rys. 5. Istota procesu *gelcasting*

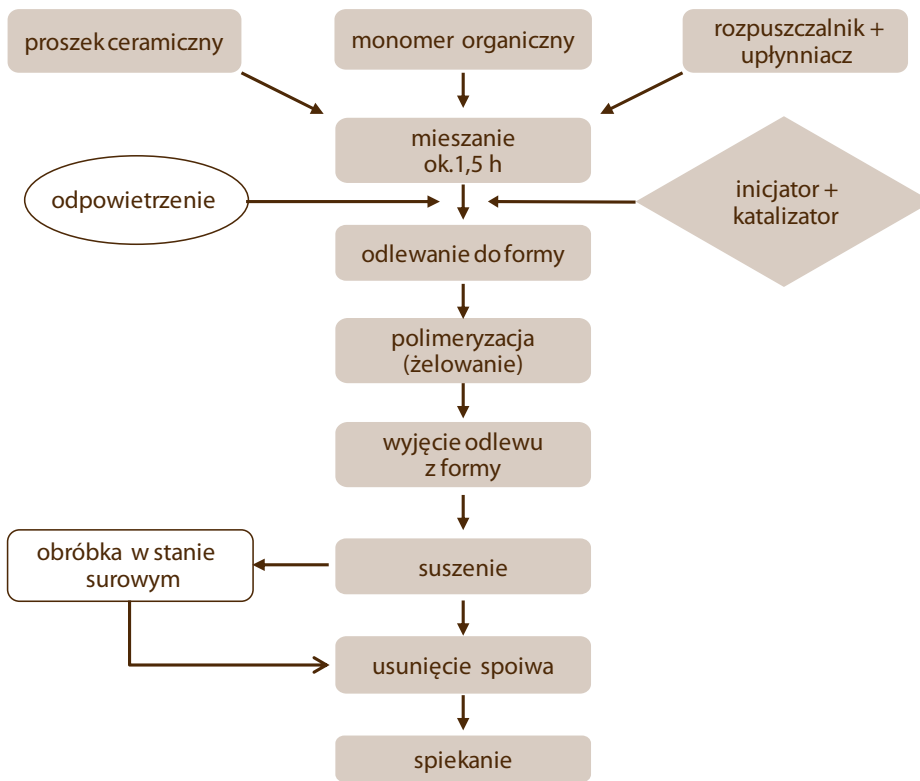
cywilnych samolotach odrzutowych. Przeprowadzone testy dowiodły, iż nowa metoda może być z powodzeniem wykorzystywana do produkcji części i podzespołów, które muszą pracować w skrajnie trudnych warunkach eksploatacyjnych [8].

Niewątpliwie dużą zaletą omawianej metody był fakt, iż w znaczny sposób obniżała ona koszty produkcyjne, gdyż ograniczała konieczność zastosowania obróbki mechanicznej po spiekaniu z wykorzystaniem kosztownych narzędzi diamentowych. Omawiana metoda pozwala na formowanie nieplastycznych proszków ceramicznych, metalicznych oraz wszelkiego typu materiałów kompozytowych. Obecnie metoda ta wykorzystywana jest przede wszystkim do formowania tlenku glinu, krzemionki, węgla krzemu, azotku krzemu i tlenku cyrkonu oraz wszelkiego rodzaju kompozytów ceramicznych [9].

*Gelcasting* jest to sposób formowania proszku ceramicznego za pomocą przeprowadzonej *in situ* polimeryzacji, w wyniku której powstaje makromolekularne usieciowanie łączące cząstki ceramiczne w formowanej kształtce (Rys. 5.).

Metoda ta polega na tym, że do proszku ceramicznego dodaje się wodnego roztworu reaktywnego monomeru organicznego oraz środka dyspersyjnego (upłynniacza) i dokładnie miesza. Powstała zawiesina jest poddana procesowi odgazowania, a następnie dodaje się do niej środka inicjującego wolne rodniki oraz katalizatora w celu przyspieszenia reakcji polimeryzacji. Następnie tak otrzymana ceramiczna masa lejna jest wlewana do formy. Formy odlewnicze mogą być wykonane ze szkła, wosku lub metali. Po napełnieniu formy zawiesiną następuje jej żelowanie. Proces polimeryzacji trwa, w zależności od składu masy warunków prowadzenia procesu, od 5 do 60 min. Po żelowaniu uformowany wyrób jest wyjmowany z formy, suszony i przed spiekaniem poddawany procesowi usuwania polimerowego spoiwa w temperaturze około 520°C, a następnie poddawany procesowi spiekania. Schemat procesu przedstawiono na rys. 6.

Wadą dotychczas stosowanych monomerów w procesie formowania zaawansowanych tworzyw ceramicznych metodą odlewania żelowego jest brak odpowiednich wodorozpuszczalnych monomerów, które nie tylko nadawałyby odpowiednią wytrzymałość mechaniczną formowanym kształtkom przy jak najmniejszej jego ilości, ale także podczas procesu jego termicznego



↑ Rys. 6. Schemat ideowy procesu *gelcasting*

usuwania nie tworzyłyby się gazy, które byłyby niebezpieczne dla środowiska. Jak dotychczas głównym monomerem stosowanym w tym procesie jest akryloamid, który okazał się być nie tylko neurotoksyną, ale prawdopodobnie ma właściwości kancerogenne. Dodatkowo, ze względu na obecność atomu azotu w cząsteczce, podczas procesu wypalania kształtek formowanych z jego udziałem tworzą się tlenki azotu niebezpieczne dla środowiska

naturalnego. Z tego powodu w Zespole Ceramiki Zaawansowanej Wydziału Chemicznego PW już od kilkunastu lat prowadzone są badania nad syntezą i zastosowaniem nowych monomerów opartych głównie na sacharydach, które po procesie polimeryzacji spełniałyby nie tylko rolę spoiwa, ale odgrywałyby także rolę środka dyspergującego (upłynniacza). Dodatkowo ze względu na obecność wielu grup wodorotlenowych do ich sieciowania nie jest

↓ Tab. 5. Monomery oparte na sacharydach w roli upłynniaczy: [10.11]

a) właściwości reologiczne zawiesin z nanometrycznego tlenku glinu bez i z dodatkiem 6-O-akryloilo-D-galaktozy

Zawartość $Al_2O_3$ w zawieszynie [% obj.]	Lepkość zawiesiny [mPas] – szybkość ścinania $15 s^{-1}$	
	Bez dodatku monomeru	Z dodatkiem 3% wag. monomeru
35	409	56
40	1386	64
45	Brak efektu płynięcia	149
50	Brak efektu płynięcia	410

b) właściwości kształtek przed i po spiekaniu (temp.  $1600^{\circ}C/1h$ ) wykonanych z tlenku glinu (TM-DAR – 150 nm) z udziałem zsyntezowanych monomerów

Monomer	W stanie surowym		Po spiekaniu	
	Gęstość względna [%]	Wytrzymałość na rozrywanie [MPa]	Gęstość względna [%]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]
3-O-akryloilo-D-glukoza	59,7	1,22	99,1	$488 \pm 65$
1-O-akryloilo-D-fruktoza	55,4	1,59	99,1	$414 \pm 78$
6-O-akryloilo-D-galaktoza	63,5	6,52	99,8	$762 \pm 60$
Monoakryloilosacharoza	55,9	0,84	99,1	$426 \pm 74$
Akrylan 2-hydroksyetylu	58,7	0,41	98,8	$312 \pm 55$

konieczny dodatek zewnętrznego środka sieciującego. Tak więc taki monomer spełnia potrójną rolę w procesie. Na rys. 7 przedstawiono wzory chemiczne wybranych nowych dotychczas zsyntezowanych na Wydziale Chemicznym wielofunkcyjnych monomerów rozpuszczalnych w wodzie.

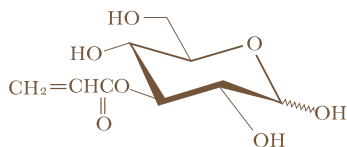
O tym, iż monomery takie, oparte na sacharydach spełniają także rolę upłynniacza świadczą wyniki przedstawione w tabeli 5.

Podkreślenia wymaga także, iż parametry kształtek uzyskanych z udziałem nowych i zsyntezowanych po raz pierwszy ma wydziale Chemicznym PW charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami zarówno w stanie surowym jak i po spiekaniu [12]. Parametry tych kształtek są zdecydowanie lepsze w stosunku do kształtek uzyskiwanych z udziałem dotychczas stosowanych i komercyjnie dostępnych monomerów takich jak akryloamid lub akrylan 2-hydroksyetylu.

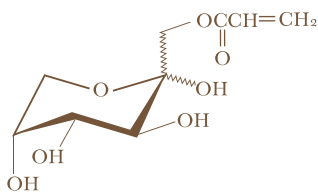
## Podsumowanie

W artykule przedstawiono niektóre wyniki wieloletnich badań nad otrzymywaniem zaawansowanych tworzyw ceramicznych z wykorzystaniem osiągnięć chemii koloidów, chemii organicznej i chemii polimerów. Badania te wykazują, iż specjalnie zaprojektowane i zsyntezowane dodatki w istotny sposób modyfikują końcowe parametry tworzyw ceramicznych nie tylko w stanie surowym, ale także po procesie spiekania. Tego typu podejście wykorzystywane jest nie tylko w procesie otrzymywania zaawansowanych tworzyw ceramicznych otrzymanych metodą odlewania folii (ang. *tape casting*) czy otrzymywania różnego typu tworzyw ceramicznych o skomplikowanym kształcie metodą odlewania żelowego (ang. *gelcasting*), ale także w szeregu innych zastosowaniach. Najważniejsze z nich realizowane w Zespole Ceramiki Zaawansowanej Katedry Technologii Chemicznej to:

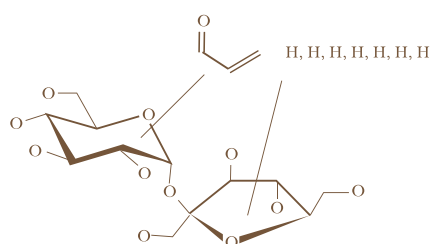
- badania nad syntezą i zastosowaniem nowych wodorozcieńczalnych spoiw polimerowych, wodorozpuszczalnych monomerów czy innych dodatków organicznych modyfikujących właściwości reologiczne zawiesin koloidalnych proszków ceramicznych, które następnie decydują o właściwościach różnego typu wyrobów ceramicznych w stanie surowym jak i po procesie spiekania;
- badania nad deaglomeracją proszków ceramicznych;



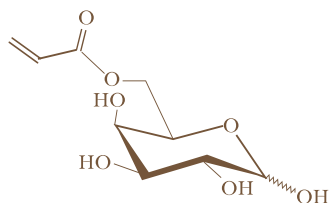
3-O-akryloilo-D-glukoza (3Akr-G)



1-O-akryloilo-D-fruktoza (1Akr-F)



Monoakryloilosacharoz (Akr-S)



6-O-akryloilo-D-galaktoza (6Akr-Gal)

↑ Rys. 7. Przykładowe monomery na bazie sacharydów zsyntezowane na Wydziale Chemicznym PW [10, 11]

- badania nad formowaniem zaawansowanych tworzyw ceramicznych metodami 2D i 3D w tym mikroreaktorów ceramicznych;
- badania nad inteligentnymi materiałami do ochrony ciała człowieka opartymi na cieczach zagęszczanych ścinaniem;
- badania nad elastycznymi kompozytami ceramika-polimer przeznaczonymi do monitorowania przestrzeni z wykorzystaniem częstotliwości sub-THz;
- badania nad kompozytami ceramika-metal i ceramika-polimer oraz kompozytami typu ceramika-ceramika przeznaczonych do różnorodnych zastosowań technicznych, medycznych i w ochronie środowiska;
- badania nad projektowaniem i otrzymywaniem ceramicznych tworzyw porowatych o kontrolowanej porowatości oraz wielkości i rozkładzie wielkości porów.

## LITERATURA

- [1] R. Pampuch, *Wielka Encyklopedia PWN*, Warszawa, Tom. 5, s. 277, 2001-2005.
- [2] K. Schmidt-Szatowski, M. Szafran, E. Bobryk, J. Sentek, *Technologia chemiczna – przemysł nieorganiczny*, PWN, 2013.
- [3] R. Pampuch, K. Haberko, M. Kordek, *Nauka o procesach ceramicznych*, PWN, Warszawa, 1992.
- [4] R. Pampuch, *Współczesne materiały ceramiczne*, Kraków: AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2005.
- [5] P. Falkowski, *Rozprawa doktorska pt. Wpływ wybranych monosacharydów na proces upynniania nanoproszków ceramicznych*, Wydział Chemiczny PW, Warszawa, 2009.
- [6] A. Danelska, *Rozprawa doktorska pt. Wpływ właściwości powierzchniowych nanoproszków ceramicznych na proces ich upynniania*, Wydział Chemiczny PW, Warszawa, 2013.
- [7] M. Szafran, G. Rokicki, *Effect of Acrylic-Styrene Copolymer Chemical Structure on the Properties of Ceramic Tapes Obtained by Tape Casting*, *J. Am. Ceram. Soc.* 84 [6] 1231-35, 2001.
- [8] D. Jach, *Rozprawa doktorska pt. „Formowanie tworzyw ceramicznych z udziałem wodorozpuszczalnych monomerów organicznych”*, Wydział Chemiczny PW, Warszawa, 2007.
- [9] M. Szafran, P. Bednarek, D. Jach, *Formowanie tworzyw ceramicznych metodą „gelcasting”*, *Materiały Ceramiczne*, 1, 17-25, 2007.
- [10] P. Bednarek, *Rozprawa doktorska pt. Badania nad zastosowaniem wybranych pochodnych sacharydów w procesie formowania proszków ceramicznych metodą odlewania żelowego*, Wydział Chemiczny PW, Warszawa, 2010.
- [11] A. Szudarska, *Rozprawa doktorska pt. Rola monoakryloilopochodnych wybranych oligohydroksy-związków w odlewaniu żelowym ceramiki zaawansowanej*, Wydział Chemiczny PW, Warszawa, 2014.
- [12] P. Wiecińska, T. Graule, M. Szafran, *L-Ascorbic acid as a new activator in fabrication of ceramics by techniques using in situ polymerization*, *Journal of the European Ceramic Society*, 34, 1581-1589, 2014.



{ **Profesor Mikołaj Szafran** (Wydział Chemiczny Politechniki Warszawskiej, Katedra Technologii Chemicznej, Zespół Ceramiki Zaawansowanej) specjalizuje się w projektowaniu i otrzymywaniu zaawansowanych tworzyw ceramicznych na bazie szeroko rozumianej chemii (chemia nieorganiczna, chemia koloidów, chemia organiczna, chemia polimerów) poprzez badania nad otrzymywaniem gęstych i porowatych tworzyw ceramicznych o zdefiniowanych parametrach fizykochemicznych, mechanicznych o określonej mikrostrukturze przeznaczonych do zastosowań w dziedzinie elektroniki, elektrotechniki (ceramika funkcjonalna), w zastosowaniu w stomatologii estetycznej, jako elementów ogniw paliwowych, materiałów do ozonowania wody pitnej i napowietrzania ścieków, ceramiki konstrukcyjnej i in. W dorobku naukowym Profesora znajdują się: ponad 220 artykułów w czasopismach krajowych i zagranicznych, 3 monografie, 4 rozdziały w książkach, 320 referatów i komunikatów na konferencjach krajowych oraz zagranicznych, 51 referatów plenarnych i na zaproszenie, 35 patentów i 11 zgłoszeń patentowych, 50 opracowań technologicznych. }

## Rozważania młodych naukowców

## GRANICE WYTRWAŁOŚCI

Gdy człowiek rodzi się, to jego świadomość, zdolność odbierania rzeczywistości, poznawania świata zewnętrznego oraz komunikowania się z nim są bardzo ograniczone. W związku z tym dziecko jest skazane na łaskę swoich opiekunów, gdyż na przykład nie może ani samo zapewnić sobie jedzenia ani jasno zakomunikować, że go potrzebuje. Jednakże ten okres życia ma bardzo duże zalety. Nie wiemy wtedy o całym złu, które znajduje się na świecie, nie przeżywamy klótni, bliscy nas nie ranią, nie stresujemy się pracą ani studiami, nie martwimy się czy starczy nam na jedzenie i na rachunki. Jesteśmy beztroscy. Potem przychodzi dzieciństwo przynosząc ze sobą całe mnóstwo małych "tragedii". Jednakże z obecnej perspektywy wydaje mi się oczywiście szalenie przyjemnym okresem.

Trudności zaczynają się potem. Pamiętam, że będąc w gimnazjum i liceum byłam przekonana, że znalazłam "receptę na życie". Byłam bardzo wierząca, niby nadal jestem, ale... no właśnie - niby. Byłam blisko Boga, przestrzegałam zasad Kościoła, żyłam w zgodzie ze sobą, z Bogiem, ze światem. Świetnie się uczyłam, zawsze byłam w ścisłej czołówce klasy. Myślałam, że wiem wszystko, że wiem, jak żyć. Wszystko, co robiłam, robiłam

na 100%. We wszystko, co robiłam, wkładałam całe serce. Sądziłam, że to wystarczy. Kochałam Boga i chciałam żyć zgodnie z jego nauką, którą uważałam za słuszną i dobrą dla człowieka. Uważałam, że ludzie, którzy jej nie przestrzegają sami potem na tym cierpią. Dopóki jedna z zasad nie zaczęła mi samej przeszkadzać. Myślałam, że ucząc się dużo i przykładając się z całych sił można osiągnąć wszystko. Nie istniały dla mnie wyrażenia: "nie wiem", "nie umiem" czy "nie dam rady". Po prostu naprawdę ich nie używałam. Jeżeli nie znałam odpowiedzi na jakieś pytanie, to zawsze starałam się coś wymyślić. Cokolwiek chciałam osiągnąć, to zawsze starałam się tak długo i tak bardzo aż się udało. Nigdy się nie poddawałam. No bo przecież uważałam, że ciężko pracując można osiągnąć wszystko. Dopóki nie przyszły studia. Wtedy zobaczyłam, jaką jestem małutka, a moje przekonania jakie naiwne. Te studia z jednej strony nauczyły mnie pokory, ale z drugiej zniszczyły mnie. Zabiły jakąkolwiek wiarę w siebie, w swoje zdolności i możliwości, we własną siłę. Zaburzyły poczucie własnej wartości. W ten sposób poczucie obowiązku i upór w dążeniu do celu, czyli cechy, które wydawałyby się zaletami, obróciły się przeciwko mnie. Od czterech lat robię coś, czego

nienawidzę. I tak już zostanie. Bo jak coś zaczęłam, to muszę to dokończyć. Teraz wiem, że już nie wiem, jak żyć. Stąd pojawiły się u mnie przemyślenia, jak diametralnie może nam się zmienić sposób postrzegania świata. Jak bardzo nasz światopogląd zależy od tego, jakie decyzje podejmiemy w naszym życiu i jak nim pokierujemy. Będąc nastolatką byłam taka pełna życia i energii. Wiara, Bóg i religia były moim całym światem. Chciałam też odnieść sukces zawodowy, bo uważałam, że mogę naprawdę daleko zajść. Teraz jestem daleko od Boga w porównaniu do tego, co było kiedyś, a na karierze nie zależy mi już wcale - chcę już tylko mieć spokój. Dlatego zaczęło mnie to zastanawiać, jak bardzo może różnić się ludzka percepcja w zależności od etapu życia. Jak doświadczenia życiowe nas kształtują i czynią nas kompletnie innymi ludźmi.

{29}

{A.R. - studentka Wydziału  
Matematyki i Nauk  
Informacyjnych PW }

## CZYM JEST MORALNOŚĆ?

Wybrany temat jest mi bardzo bliski, a jednocześnie, niestety, dość kontrowersyjny. Dlatego już na wstępie pragnę podkreślić, że praca ta nie ma na celu oceniania kogoś, jest wyłącznie moją refleksją nad tym, czym jest moralność.

Myślę, że dość oczywistym jest, że świat (przynajmniej ten materialny) jest matematyczny. Matematyka z kolei jest nauką obiektywną. Moralności nie da się matematycznie zdefiniować, matematyka nie zajmuje się rozgraniczaniem dobra i zła. Są to pojęcia stworzone przez człowieka na jego potrzeby i sam ten fakt jest dobrym powodem, aby uważać, że zasady moralne są czysto subiektywne.

W tej pracy chciałabym poddać to w wątpliwość.

Na początek skupię się na potrzebie moralności. Każdy człowiek kieruje się w życiu pewnymi zasadami, które w znacznym stopniu odzwierciedlają wychowanie i środowisko, w którym żyje. Jest dla nas naturalne, żeby tworzyć granice między tym, co wolno, a czego nie. Jest tak nie tylko na poziomie indywidualnym, ale również przy formowaniu się w grupy. Obecnie społeczeństwo praktycznie definiowane jest przez to, jakie prawa w nim panują. Owszem, większość tych praw jest umowna, można kwestionować ich sens, niektóre są absolutnie bezpodstawne. Kładę jednak

nacisk na sam fakt, że odczuwamy potrzebę, by jakieś prawa istniały.

Mimo, iż każdy z nas jest stworzony inaczej, wszystkie zwierzęta, w tym ludzie, łączy to, że jesteśmy świadomi, unikamy bólu (zarówno fizycznego jak i psychicznego) i chcemy przetrwać. W przeciwieństwie do roślin posiadamy mózg, który sprawia, że czujemy, a nie tylko odbieramy bodźce. Naturalnym wydaje się opisywanie bólu i cierpienia jako czegoś złego, przynajmniej, jeśli dotyczy on nas samych. Potrzeba istnienia praw wynika głównie z tego, że nie chcemy cierpieć. Człowiek posiada na tyle zaawansowane zdolności poznawcze,



że wie iż inne czujące istoty również nie chcą. Tutaj rodzi się pytanie, czy można w takim razie uznać, że zadawanie niepotrzebnego cierpienia należy określić jako obiektywnie złe? Idąc dalej, powinnam jasno sprecyzować co rozumiem przez słowo niepotrzebne. Niepotrzebne, czyli takie, które zadane jest celowo, którego dałoby się uniknąć, takie, które sprawia chwilową przyjemność wyrażającemu, nie jest konieczne do jego przetrwania, natomiast w znacznym stopniu krzywdzi ofiarę (odbiera jej zdrowie lub życie). Upraszczając, można stwierdzić że jest to ekstremalna wersja powiedzenia nie rób drugiemu co Tobie niemiłe.

Mimo, iż fakt, że podstawowe potrzeby innych są fundamentalnie takie same, jak nasze wydaje się być prostą obserwacją, ludzie często wołają o tym zapominać, świadomie lub mniej świadomie to ignorować. Można jednak zauważyć, że na przestrzeni wieków ludzka moralność znacznie ewoluowała. Za nami czasy, gdy paleńskie czarownice czy niewolnictwo było na porządku dziennym. Na ogół im bardziej rozwinięte społeczeństwo, tym więcej w nim empatii i tolerancji. Myślę, że to jest naturalna kolej rzeczy. Poszerzając swoje horyzonty myślowe coraz trudniej jest racjonalizować cierpienie innych. Mimo, że dzisiaj nie do pomyślenia byłoby spalanie kogoś na stosie w obawie, że praktykuje czarna magię, warto wziąć pod uwagę, że niegdyś takie zachowanie było ogólnie przyjętą normą. Często nie zdajemy sobie sprawy z tego, jak niesamowitym osiągnięciem jest moralny rozwój ludzkości, gdyż nawet nie zastanawiamy się nad tym, jak trudno jest w danej społeczności przeciwstawić się panującym w niej zasadom i poglądom, które każdemu zostały zindoktrynowane.

Oczywiście droga ku bardziej etycznemu społeczeństwu jest jeszcze długa. Pragnę przedstawić tu wywołujący mnóstwo kontrowersji przykład, jak bardzo przyjęte przez ogół zasady wpływają na nas, mimo, że często nie jesteśmy tego nawet świadomi. Większość ludzi w odpowiedzi na pytanie, czy chciałaby, aby na świecie nie było niepotrzebnego cierpienia, odpowiedziałaby oczywiście, że tak. Mimo to ci sami ludzie nie widzą nic złego w spożywaniu mięsa czy innych produktów odzwierzęcych. Rozmowy na ten temat często powodują tzw. dysonans poznawczy, czyli nieprzyjemne napięcie psychiczne wywołane

przez niezgodność między wyznawanymi przez nas wartościami i przyjętą postawą, a naszymi zachowaniami. Bronimy się przed nim próbując racjonalizować nasze zachowanie. W przedstawionym przeze mnie przykładzie najczęściej uciekamy się do tzw. „trzech N”: jedzenie mięsa jest naturalne, niezbędne i normalne. Jednak gdy szczerze zastanowimy się nad naszymi argumentami, czy naprawdę nasze postępowanie jest słuszne ponieważ jest uznawane w danym czasie, w danej grupie ludzi za normę? Czy sam fakt, że coś występuje w naturze oraz że nasi przodkowie również to praktykowali sprawia że jest moralnie uzasadnione? Kwestię tego, że jedzenie mięsa nie jest konieczne rozwiązały już dawno największe organizacje zajmujące się zdrowiem i w chwili obecnej jest to już naukowy konsensus. Oczywiście jest fakt, że produkcja mięsa powoduje cierpienie i śmierć zwierząt, mniej oczywistym, że inne produkty odzwierzęce, które spożywamy również przyczyniają się do cierpienia i śmierci zwierząt. W takim razie, czy szczerze możemy powiedzieć, że jesteśmy za minimalizacją niepotrzebnego cierpienia, jeśli nie chcemy odmówić sobie steku i jajecznicy na śniadanie?

Osoba czytająca ten esej mogłaby dojść do wniosku, że odrzucam nihilizm moralny. Dla mnie termin ten oznacza, że nie ma żadnych odgórnie ustalonych zasad moralnych, a dokładniej, że nasze czysto obiektywne narzędzia do opisu rzeczywistości nie zajmują się definiowaniem dobra i zła. Zgadzam się z tym. Jednak nie zgadzam się z częstą interpretacją (oryginalną interpretacją), iż oznacza to, że wszelkie próby ustanowienia obiektywnych praw etycznych nie mają sensu. Uważam, że nihilizm znajduje głównie zastosowanie jako metoda podważania reguł religijnych, czy chociażby tych wynikających z tradycji, nakłaniania do sceptycyzmu, jednak nie zgadzam się z jego ostateczną konkluzją

{Dorota Wedmann - studentka Wydziału Matematyki i Nauk Informatycznych PW. }

Prezentacje trzech projektów założeń do Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym, które odbyły się w auli Politechniki Warszawskiej w dniu 1 marca 2017, w zasadzie potwierdziły pierwsze odczucia (po spotkaniu w FNP w dniu 10 stycznia b.r.) jaki kierunek, moim zdaniem, powinny obrać prace przy formułowaniu docelowej postaci Ustawy. Dla osiągnięcia wyznaczonego celu powinniśmy naszym dyskusjom nadać spójność, wynikającą z przyjęcia pewnego punktu widzenia, który wyznaczać będzie określone kierunki działań związane z koniecznością zmiany organizacji nauki i szkolnictwa wyższego. Kierunek zmian wynikać będzie z przyjętej strategii rozwoju Kraju, nadającej warunki brzegowe naszym działaniom. Tak więc punktem odniesienia powinien być Program na Rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju.

Margaret Thatcher, na starcie swojej kariery gdy starała się o przywództwo partii konserwatywnej powiedziała jedno znamienne zdanie, które było kanwą dalszej wypowiedzi przedstawiającej program Torysów pod jej ew. kierownictwem "... kiedyś chodziło o to, żeby coś osiągnąć, a teraz wielu z nas tak organizuje swoje działania, aby być kimś" (cytat swobodny z pamięci). Moim zdaniem jest to głębokie i ważne stwierdzenie, które powinno ukierunkować sposób naszego przyszłego działania.

Przyczyny kryzysu nauki w Polsce mają charakter zewnętrzny, uwarunkowany strategią Państwa (dotychczas jej brakiem) i zdefiniowanej roli nauki w rozwoju kulturowym, społecznym i gospodarczym. Są również przyczyny wewnętrzne, wytworzone przez sposób organizacji nauki, w tym finansowania badań i kryteriów oceny ich wyników. Nauka (również światowa) stała się towarem, a uczony (naukowiec) stał się pracownikiem naukowym. Cała otoczką nauki straciła swój akademicki charakter i stała się nauką "postakademicką". Egzemplifikacją tego jest zatrącenie relacji mistrz-uczeń. Zatracony został najważniejszy mechanizm nauki, tzn. odpowiedzialność starszego pokolenia za formowanie postaw następców. Deprecjonowanie roli nauki spowodowało również atrofie tego mechanizmu. Do tych spraw odnosi się szerzej prof. Maciej Grabski w swojej książce "O Nauce w Polsce - Zamyślenia", PAU, Kraków, 2015. Nowa Ustawa powinna wytworzyć mechanizmy do uruchomienia tych zmian.

W naszej rzeczywistości wiele przedsięwzięć definiowane jest przez wypełnianie narzuconych z zewnątrz wskaźników (mniej lub bardziej rozsądnie sformułowanych). Osiągnięcie tych wskaźników staje się głównym celem działania, a nie jedynie weryfikacją rezultatów właściwego celu pracy (często z konieczności, ze względu na sztuczność niektórych wskaźników). Szczególnie rażąco wygląda to w przypadku awansów i osiągania kolejnych szczebli kariery naukowej na "drabinie wskaźnikowej". Możemy to rozszerzyć na poziom struktury uczelnianej, tzn. rodzaju szkół wyższych zależnie od postawionych przed nimi celów. Naczelnym zadaniem szkoły jest nauczanie na różnych stopniach zaawansowania wiedzy, zależnie od profilu absolwenta zdefiniowanego przez oczekiwania potrzeb rynkowych.

Konieczność zahamowania, a najlepiej zmniejszenia, dystansu jaki dzieli dobre szkoły wyższe na świecie od poziomu nauki i szkolnictwa w Polsce, wymusza potrzebę takiej regulacji aby stworzyć mechanizmy naprawcze. Może to się stać jedynie wtedy, gdy na każdym szczeblu organizacji nauki i szkolnictwa zdefiniowane zostaną warunki konkurencyjności i wytworzona potrzeba dużej aktywności oraz przedsiębiorczości w działaniu gremiów kierowniczych. Wydaje się, że jest zgoda na powstanie trzech typów uczelni realizujących swoje misje z różnym udziałem badań i nauczania.

Tak więc misja naukowa byłaby realizowana w uczelniach badawczych, gdzie udział badań i ich powiązanie z kształceniem na drugim stopniu stałyby się istotą ich działalności. Wytworzenie mechanizmów kumulacji środków na badania powinno doprowadzić do osiągnięcia konkurencyjnego poziomu naukowego. Absolwenci tego typu uczelni stanowiliby elitę naukową, zasilającą inne jednostki uczelniane i instytutowe. Uczelnie dydaktyczne realizowałyby misję związaną z zapewnieniem powszechnego dostępu do szkolnictwa wyższego, jako niezbędnego elementu w rozwoju kulturowym, społecznym i gospodarczym oraz pozyskaniu wiedzy potrzebnej na rynku pracy. Misja uczelni badawczo-dydaktycznych byłaby związana z potrzebami gospodarczymi i społecznymi regionów.

Wyłanianie i definiowanie zbiorów uczelni poszczególnych typów powinno mieć charakter procesu wg zdefiniowanych oczekiwań i postawionych kryteriów.

# Komentarz projektów założeń do Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym

Ważnym tłem dla kryteriów jakościowych i strukturalnych osiągania wymagań poszczególnych typów uczelni jest sposób finansowania. Finansowanie powinno obejmować dotacje celowe oraz filary finansowania przeznaczonych na badania statutowe, finansowanie badań z grantów i środków wspierające doskonałość naukową (np. program „milion za milion”). Uczelnie każdego typu, realizujące swoje misje, miałyby różne udziały poszczególnych typów finansowania.

Agendy ministerialne, realizujące systemy grantowe, powinny być tak zorganizowane, aby zapewnić transparentność kwalifikacji. Najślabszym (w ogólnym przypadku) elementem obecnego systemu jest poziom recenzji. Doborowi recenzentów i ocenie ich pracy należy poświęcić szczególną uwagę.

Formuła otwartości i konkurencyjności wymusza inny sposób organizacji uczelni i wyłaniania władz. Jednostką podlegającą ocenie powinna być uczelnia. Tylko wtedy będzie to spójne z procesem kwalifikacji. Władze uczelni, dostosowując i proponując jej strukturę, muszą zdefiniować spójność takiego programu dla uczelni jako całości i stosować wewnętrzne kryteria wymagań i oceny, żeby program uczelni był zrealizowany.

Podstawowym gremium reprezentującym społeczność akademicką jest Senat uczelni. Decyzje Senatu i ustalone przez Senat Statut uczelni są podstawą jej działalności. Ze względu na potrzebę otwartości uczelni na otoczenie zewnętrzne i naturalne warunki

konkurencyjności, Senat, w zdefiniowanej formule, decyduje o sposobie wyboru władzy wykonawczej.

Potrzeba bieżącego stymulowania i weryfikacji osiąganych celów realizowanych przez władze uczelni w kontekście zdefiniowanych warunków jej działania powoduje, że ważnym ciałem które powinno znaleźć się w strukturze jest Rada Powiernicza wybierana przez Senat. W skład Rady powinni wchodzić przedstawiciele społeczności akademickiej (wybitni uczeni z uznanym na świecie dorobkiem) oraz przedstawiciele otoczenia społeczno-gospodarczego, mający wyróżniającą pozycję w środowisku (np. przedstawiciele Lewiatana, BCC i innych gremiów). Taki skład Rady z jednej strony utrzymuje akademicki charakter i misję uczelni, z drugiej strony daje pewne refleksje w oddziaływaniu ze środowiskiem zewnętrznym. Otwarty system unika efektu wsobności i możliwości powstawania elementów powodujących degenerację układu. Senat i Rada Powiernicza ustalają sposób wyłaniania Rektora (Prezydenta). Rektor uczelni odpowiedzialny jest za realizację misji oraz wizerunek uczelni i utrzymanie jej pozycji w strukturze nauki i szkolnictwa wyższego.

Na poziomie wykonawczym, wewnątrz uczelni, szczególną rolę, z posiadaniem odpowiednich prerogatyw, powinien mieć Kanclerz. Dysponując narzędziami oceny i regulacji na poziomie finansowym całej uczelni powinien wymuszać i stymulować działanie

wszystkich jednostek organizacyjnych wchodzących w jej skład.

Senat i Rektor, przy udziale Rady Powierniczej, biorąc pod uwagę zdefiniowane cele, określa istniejącą strukturę wewnętrzną (jeśli nie spełnia wymogów proponowanego programu) i wymagania merytoryczne dotyczące sposobu zarządzania poszczególnymi jednostkami. Struktury, w zależności od misji uczelni, mogą mieć różną formułę.

Wydaje się, że w przypadku uczelni badawczych i badawczo-dydaktycznych nie do utrzymania jest dotychczasowa struktura wydziałowa. Podstawową jednostką powinna być silna naukowo Katedra, a klastery Katedr o spójnej metodyce i narzędziach badawczych powinny tworzyć szkoły (kolegia), które realizują program nauczania na zdefiniowanym kierunku. Taki system zapewni inter- i multidyscyplinarność badań oraz wysoki poziom dydaktyki.

Historyczny podział na dyscypliny i bardzo wąskie specjalizacje powoduje powstawanie coraz to nowych podziałów i przez to istotny wzrost ich liczby. Naturalna jest chęć utrzymania istniejących specjalności, czasami ponad potrzeby jednostki (uczelni). Stąd, przy braku konsekwentnej polityki naukowej, dostępne środki w coraz mniejszej ilości „rozsmarowane” są na dużą liczbę aplikujących. Dodatkowo, zmniejsza się prawdopodobieństwo ich pozyskania w procedurach konkursowych dla obecnych jednostek reprezentujących te specjalności. Tymczasem powinniśmy stać się specjalistami od rozwiązywania problemów, a nie od podtrzymywania kondycji istniejących podmiotów. Tworzenie obszarów współdziałania inter- i multidyscyplinarnych jest naturalną koniecznością w nowej organizacji nauki. Elastyczność systemu umożliwi dostosowania programowe do potrzeb rynku, a przez to pozyskiwanie środków na działalność badawczą.

Podstawą jakości na wszystkich płaszczyznach działalności uczelni są kadry. Dotychczasowy system awansów sprowadza się często do spełniania formalnych wymogów, określonych przez drabinę awansową, zdefiniowaną przez stopnie naukowe i tytuł naukowy. Osiąganie tych stopni powoduje, że nierzadko stają się one celem zasadniczym pracownika. Praca naukowa, jej użyteczny i konkurencyjny (we wszystkich aspektach pracy badawczej) wynik staje się często

niezbyt istotny w tym postępowaniu, stąd – patrząc obiektywnie – mamy słaby poziom kadr naukowych.

Moim zdaniem, jedynym stopniem stanowiącym przepustkę do kariery naukowej powinien być doktorat. Wymagania dotyczące nadania stopnia doktora powinny być postawione bardzo wysoko. Poziom prac badawczych prowadzonych w ramach doktoratu powinny być odnoszone do standardów światowych w danej dyscyplinie. W związku z tym jednostki uprawnione do ich nadawania muszą spełniać wysokie standardy i mieć ugruntowaną pozycję na arenie międzynarodowej. Obecne uprawnienia uzyskiwane są na zasadzie ilościowych bilansów członków Rady Wydziału. Uprawnionymi, z odpowiednimi stopniami i tytułami, są często pracownicy bez dorobku naukowego lub z pozornym dorobkiem kwalifikowanym w obecnym systemie awansowym.

Zwieńczeniem awansów powinien być tytuł naukowy profesora, nadawany przez organy państwowe.

Awanse na poszczególne stanowiska pracowników naukowych w uczelni powinny być zdefiniowane przez system uczelniany. Osiągnięcie przez osobę ze stopniem naukowym doktora kolejnych stanowisk, tzn. adiunkta, profesora nadzwyczajnego i profesora zwyczajnego powinno być związane z kryteriami wewnętrznymi, odniesionymi do głównych celów działalności uczelni i jej misji w warunkach konkurencji.

Zatrudnienie powinno mieć charakter kontraktowy, z jasnymi warunkami przedłużenia. Tylko wtedy wytworzy się mechanizm rozwoju i podnoszenia poziomu badawczego. Taka forma zatrudniania spowoduje większą elastyczność w realizacji programów badawczych. Umożliwi powroty do zespołów naukowych osób, które przebywają czasowo na kontraktach naukowych w innych instytucjach, a także tych którzy zdobywają doświadczenie przemysłowe, związane z wdrażaniem własnych rozwiązań technologicznych lub uczestniczą w innych ważnych przedsięwzięciach gospodarczych. Jednocześnie umożliwi to zachowanie ciągłości i poziomu dydaktycznego przez uzupełnianie, na zadany okres, składu osobowego jednostki podstawowej. Uczelnie staną się środowiskiem tworzenia elit na potrzeby Kraju, a nie przechowalnią tych, którzy w różny sposób weszli do systemu nauki i szkolnictwa i pozostają w nim bez względu na bieżące

osiągnięcia. W innej sytuacji, ze względu na swoją misję, będą uczelnie dydaktyczne. Tu najważniejszym kryterium jakości jest poziom kształcenia i poziom kadry nauczającej. Struktura organizacyjna i sposób finansowania tego typu uczelni będzie istotnie różny od struktury uczelni badawczych i badawczo-dydaktycznych.

**Profesor Leon Gradoń** specjalista w zakresie inżynierii biomedycznej oraz inżynierii chemicznej i procesowej. Absolwent inżynierii chemicznej na Politechnice Warszawskiej (1969) oraz matematyki na Uniwersytecie Warszawskim (1975). W 1990 otrzymał tytuł profesora nauk technicznych. Zawodowo związany z Politechniką Warszawską. Od 1999 do 2005 pełnił funkcję dziekana Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej. Przewodniczył Radzie Naukowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy. Był stypendystą Fundacji Fulbrighta w Cincinnati, wykładatą jako *visiting professor* na uczelniach w USA, Japonii, Austrii, Holandii i Szwecji. Jest autorem lub współautorem licznych publikacji naukowych, w tym kilkunastu monografii i podręczników akademickich, a także kilkudziesięciu patentów oraz wdrożeń przemysłowych. W 2006 otrzymał Nagrodę Fundacji na rzecz Nauki Polskiej za „wyjaśnienie podstawowych procesów transportu w układach dwufazowych i ich wykorzystanie do opracowania nowych konstrukcji filtrów węglnych”. Był wiceprzewodniczącym Komitetu Inżynierii Chemicznej i Procesowej Polskiej Akademii Nauk, powoływany w skład rad i komitetów doradczych różnych organizacji i instytucji (m.in. Narodowego Centrum Badań i Rozwoju) oraz czasopism naukowych. W 2016 roku został wybrany na przewodniczącego Rady Fundacji na rzecz Nauki Polskiej.



## WPLYW PARAMETRÓW PROCESU NA MORFOLOGIĘ I ZWILŻALNOŚĆ NANORURKOWYCH WARSTW $\text{TiO}_2$ WYTWORZONYCH METODĄ ELEKTROCHEMICZNEJ ANODYZACJI

Wyniki zaprezentowane na NanoFORUM - Forum of understanding on Nanomaterials and their interdisciplinary application

Nanorurkowe warstwy tlenkowe wytwarzane metodą elektrochemicznej anodyzacji na tytanie i jego stopach są przedmiotem intensywnych badań pod kątem możliwości zastosowania jako modyfikacji powierzchniowych na implantach kostnych. Średnica i grubość ścianki nanorurek wpływają na przyleganie oraz proliferację komórek. Mogą być one kontrolowane przyłożonym napięciem i czasem anodyzacji. Odpowiedź komórkowa jest ściśle związana z właściwościami powierzchni, w szczególności zwilżalnością. W pracy podjęto się oceny wpływu parametrów procesu na morfologię i zwilżalność otrzymanych warstw. Uzyskane wyniki pokazały, iż najbardziej uporządkowane struktury otrzymano dla warstw wytworzonych przy napięciu 20 V. Długość nanorurek wytworzonych dla krótkich czasów (1, 3, 5 i 10 min) rośnie ze wzrostem czasu anodyzacji a następnie spada dla warstwy anodyzowanej przez 40 min. Zwilżalność warstw wytwarzanych przy 20 V spada ze wzrostem średnicy nanorurek do wartości 100 nm, zaś dla wartości powyżej 100 nm mierzone kąty zwilżania rosną.

Tytan i jego stopy są powszechnie używane w zastosowaniach biomedycznych, zwłaszcza do implantów kości, ze względu na ich dobre własności mechaniczne, wysoką biokompatybilność i odporność na korozję. Mimo tych korzystnych cech, nadal istnieją pewne ograniczenia związane z długim czasem potrzebnym do osiągnięcia pełnego zespolenia implantu tytanowego z tkanką kostną [1,2]. W związku z tym olbrzymie znaczenie ma opracowanie modyfikacji powierzchniowych, które mogłyby stymulować proces osteointegracji i wzmocnienia połączenia między implantem i tkanką. Powszechnie wiadomo, że właściwości powierzchni, takie jak morfologia, skład chemiczny, topografia czy też energia powierzchniowa muszą zostać zoptymalizowane w celu opracowania odpowiedniego materiału na implant [3-5]. Obecnie szeroko badane jako potencjalne modyfikacje powierzchni tytanu i jego stopów są nanorurkowe warstwy  $\text{TiO}_2$ . Jedną z metod pozwalających na uzyskanie nanorurek (NT) jest elektrochemiczne utlenianie. Jest to prosta i uniwersalna

metoda o dużym potencjale, ponieważ nie wymaga stosowania drogich reagentów chemicznych a morfologię nanorurki można łatwo kontrolować za pomocą parametrów procesu, takich jak czas anodowania i przyłożone napięcie [6-8]. Skład chemiczny warstwy i jej architektura wpływają na właściwości powierzchni i pozwalają modyfikować skierowane interakcje powierzchni komórki [9,10]. Co więcej, warstwa  $\text{TiO}_2$  NT może być chemicznie modyfikowana przez osadzanie nanocząstek przeciwbakteryjnych lub warstwy fosforanu wapnia w celu dalszego zwiększenia potencjału biomedycznego [11,12].

Stwierdzono, że przyleganie i proliferacja komórek są ściśle związane z właściwościami fizyko-chemicznymi powierzchni, zwłaszcza zwilżalnością [8]. Wcześniejsze prace na ten temat dotyczyły tego, że komórki lepiej przylegają do powierzchni hydrofilowych [13-15]. Warstwy o małym kącie zwilżania (WCA) sprzyjają adsorpcji białek, takich jak witronektyna i fibronektyna, które są znane jako białka hydrofilowe. Pobudzają przyczepność osteoblastów, co następnie wpływa na poprawę wbudowywania komórek i wzrost nowej tkanki kostnej [16, 17]. Wysoka zwilżalność hydrofilowych nanorurkowych warstw tlenkowych prowadzi do zwiększenia powierzchni, a dalej usprawnia przyczepianie komórek i przyspiesza tworzenie kości wokół implantu. Mały kąt zwilżania WCA nanorurkowych warstw tlenkowych wynika z porowatej struktury, która umożliwia penetrację płynów komórkowych do rurek i obniżenie uzyskiwanych wartości kąta kontaktu [1].

Zatem w niniejszym artykule zajęliśmy się badaniem wpływu parametrów procesu anodowania na morfologię otrzymanych nanorurek tlenku tytanu, jak i zwilżalność warstwy. Nanorurki  $\text{TiO}_2$  (NTs) zostały wykonane na podłożu tytanowym poprzez utlenianie elektrochemiczne w mieszaninie zawierającej jony fluorku amonu dla różnych stałych napięć w różnych okresach czasu. Morfologię tak otrzymanych próbek badano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. Charakterystyczne wymiary takie jak średnica, grubość ścianki i wysokości

nanorurek zostały ustalone za pomocą oprogramowania *ImageJ*. Zwilżalność nanorurkowych warstw tlenku określono przez pomiar kąta kontaktu wody - WCA (metodą kropli siedzącej) gdzie jako cieczy wzorcowej użyto wody dejonizowanej.

### Materiały i metody

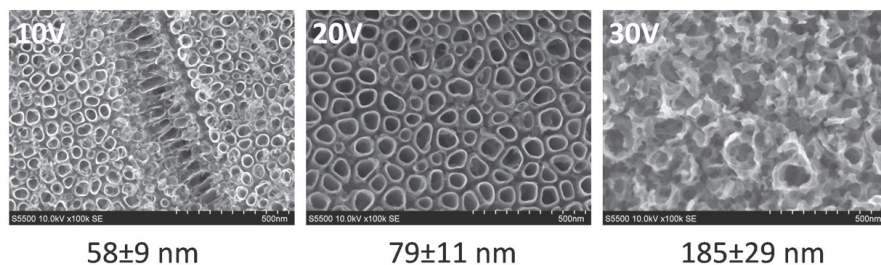
Nanorurki dwutlenku tytanu ( $\text{TiO}_2$  NT) zostały wykonane na płytach folii tytanowej o grubości 0,25 mm (o czystości 99,7%, Sigma-Aldrich, USA). Przed anodowaniem wszystkie próbki zostały oczyszczone ultradźwiękowo z użyciem acetonu, etanolu i wody zdejonizowanej (DI), a następnie suszone na powietrzu. Nanorurkowe warstwy tlenku wytwarzano przez anodowanie elektrochemiczne w mieszaninie glicerolu, wody dejonizowanej (DI) i fluorku amonu. Do utrzymania stałej wartości napięcia (10, 20, 30 V) stosowano zasilanie prądem stałym (DC) w określonym czasie (1, 3, 5, 10 i 40 minut). Po procesie anodowania, próbki płukano wodą dejonizowaną DI i suszono na powietrzu.

Morfologię tak otrzymanych próbek badano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SU-8000, Hitachi). Próbki były przymocowane do stołu taśmą przewodzącą. Obserwacje przeprowadzono przy napięciu 5 kV i natężeniu 10 uA. Do oszacowania charakterystycznych wymiarów nanorurek, to znaczy średnicy, grubości ścianki i długości użyto oprogramowania *ImageJ*. Statystykę przeprowadzono na podstawie obrazów wybranych z różnych obszarów warstwy; dla każdej próbki przeprowadzono 50 pomiarów.

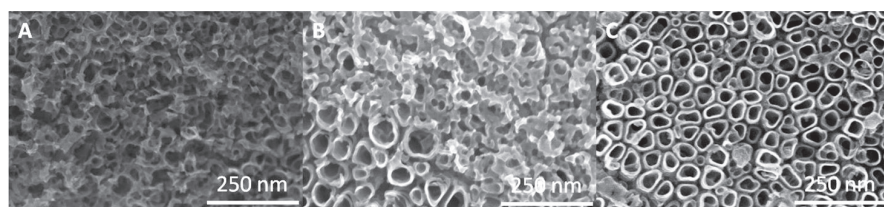
Zwilżalność nanorurkowych warstw tlenku określano za pomocą statycznego kąta zwilżania wodą (WCA). Pomiar przeprowadzono metodą kropli siedzącej za pomocą tensjometru optycznego wyposażonego w mikrostrzykawkę (ThetaLite, Attension). Jako ciecz wzorcową używano wody dejonizowanej DI. Monitorowano zwilżalność przez 300 s a następnie obliczano średnią z trzech pomiarów.

### Wyniki i dyskusja

Elektrochemiczne anodowanie na podłożu tytanowym pozwala na uzyskanie struktury nanorurkowej. Nanorurki rosną prostopadle do powierzchni, z dolną



↑ Rys. 1. Obrazy SEM nanorurek uzyskane przy różnych wartościach napięcia stałego przez 40 min



↑ Rys. 2. Obrazy SEM uzyskane na poszczególnych etapach tworzenia nanorurek przy 20 V dla: A - 3 min, B - 5 min, C - 40 min

częścią zamkniętą i osadzoną w warstwie pośredniej. Typową morfologię struktur uzyskanych w czasie anodowania dla różnej wartości napięcia stałego, możemy zobaczyć na rys. 1. Najbardziej jednolite i dobrze uporządkowane nanorurki o regularnym kulistym kształcie porów uzyskano dla 20 V. Warstwy anodowane przy 30 V nie posiadają całkowicie uporządkowanej struktury nanorurkowej - istnieją obszary w pełni ukształtowanych rurek, jak również miejsca na początkowym etapie ich powstawania. Nanorurki TiO<sub>2</sub> otrzymane przy 10 V posiadają nieregularne kształty - są zarówno miejsca z rurkami wydłużonymi w jednym kierunku, jak i takie kuliste. Charakterystyczne wymiary nanorurek uzyskanych w różnym czasie przy różnych wartościach przyłożonego napięcia są przedstawione w tabeli 1. Wyniki wykazały, że czas anodowania ma wpływ w szczególności na grubość ścianki i wysokość nanorurek. Grubość ścianki zmniejsza się wraz z wydłużeniem czasu procesu, podczas gdy wysokość nanorurek dla krótkich okresów (1, 3, 5 i 10 min) rośnie w sposób systematyczny a następnie spada dla nanorurek wytwarzanych przez

40 minut. W celu uzyskania nanorurek o większej średnicy i grubych ściankach zastosowano wyższe wartości napięcia. Dla warstwy wykonanej przy 10 V przez 40 min, średnia średnica nanorurek wynosi 58 ± 9 nm, a grubość ścianki 7 ± 1 nm. Charakterystyczne parametry rosną w przypadku struktur wytwarzanych przez 40 minut przy wyższym napięciu - odpowiednio dla 20 i 30 V: średnia średnica wynosi 79 ± 11 nm i 185 ± 29 nm a grubości ścianki 8 ± 2 nm i 15 ± 4 nm.

Zmniejszenie grubości ścianki wraz ze wzrostem czasu anodowania wynika z mechanizmu powstawania nanorurek. Utlenianie anodowe składa się z dwóch jednocześnie zachodzących procesów - tworzenia gęstej warstwy tlenku i jej selektywnego rozpuszczania chemicznego. Na początkowym etapie procesu, powstają nieregularne nanopory, które dziurawią zwartą warstwę tlenkową. Nierównomierne rozpuszczanie warstwy tlenku powoduje uzyskanie większych grubości ścianki. Reaktywność powierzchni rośnie wraz z pojawieniem się porowatej struktury, natężenie prądu rośnie. W tym czasie, jest tworzona nanoporowata

dwuwarstwowa struktura nanorurek. Po osiągnięciu stanu równowagi, rozpuszcza się przejściowa warstwa porowata i uzyskujemy w pełni uporządkowaną strukturę nanorurkową. Na rys. 2 widoczne są mikrografie prezentujące kolejne etapy powstawania nanorurek dla anodowania prądem stałym o napięciu 20 V, odpowiednio, w ciągu 3, 5 i 40 minut. Warstwa nanoporowata (rys. 2A) stopniowo przekształca się w typową dwuwarstwową strukturę z nanoporów obejmujących nanorurki (rys. 2B). W ostatnim etapie, rozwija się dobrze uporządkowana struktura w pełni uformowanych nanorurek (rys. 2C). W związku z tym, wartości średniej grubości ścianki NT są zależne od etapu powstawania warstwy nanoporowatej, która w kolejnych fazach rozpyla się i tworzy się cienka ściana nanorurek. Warstwy tlenków wytwarzane przy stałym napięciu 30 V przez krótkie okresy czasu, nie posiadają w pełni uformowanych nanorurek, w związku z czym nie można było oszacować wymiarów charakterystycznych.

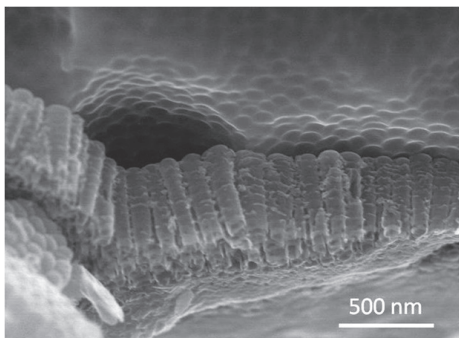
Rys. 3 przedstawia obraz SEM dolnej części nanorurek i warstwy kontaktowej pomiędzy rurkami a podłożem tytanowym. Wystający, zaokrąglony kształt zamkniętego dna nanorurek odpowiada morfologii wklęsłej powierzchni podłoża Ti. Połączenie zamkniętych końców nanorurek i zagłębień w podłożu odgrywa ważną rolę w adhezji warstwy tlenku i jego właściwości.

Na rys. 4 przedstawiono wykres kąta zwilżania wodą (WCA) w funkcji czasu anodowania. Wykazano, że w przypadku warstw tlenkowych utworzonych przy stałym napięciu 10 V, wartości WCA są na podobnym poziomie dla krótkich czasów anodyzacji, następnie spadają dla 40 minut. Dla nanorurek anodowanych przy 20 V, wartość WCA stale spada do 20 min utleniania, a następnie znacznie rośnie dla warstwy utworzonej przez 40 minut. Zwilżalność warstwy nanorurkowej powstałej przy stałym napięciu 30 V konsekwentnie zmniejsza się wraz z wydłużeniem czasu anodowania, aby osiągnąć minimalną wartość przy 40-minutowym anodowaniu. Wykazano, że w pełni uporządkowane struktury nanorurkowe wykazują bardziej hydrofilowy charakter w porównaniu do warstwy porowatej na początkowym etapie tworzenia NT.

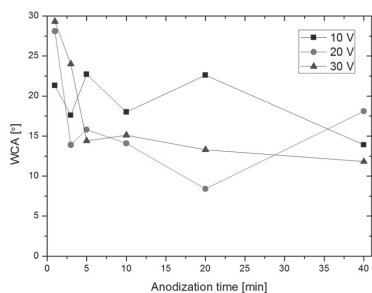
Rys. 5 przedstawia zmiany wartości WCA otrzymane dla warstw tlenkowych utworzonych przy napięciu 10 i 20 V, w funkcji średnicy nanorurek. Dla warstw utworzonych przy napięciu 10 V, im większa średnica NT

↓ Tab.1. Charakterystyczne wymiary nanorurek

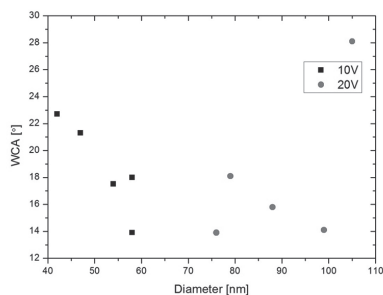
Napięcie [V]	Charakterystyczne wymiary	Czas [min]					
		1	3	5	10	40	
10	Średnica [nm]	47±5	54±5	42±9	58±9	58±9	
	Grubość ścianki [nm]	12±3	13±3	8±3	6±1	7±1	
	Wysokość [nm]	133±21	211±11	282±17	210±39	341±96	
20	Średnica [nm]	105±15	76±17	88±16	99±17	79±11	
	Grubość ścianki [nm]	11±2	7±2	10±2	8±2	8±2	
	Wysokość [nm]	265±19	452±17	548±41	461±73	366±23	
30	Średnica [nm]	-	-	-	-	185±29	
	Grubość ścianki [nm]	-	-	-	-	15±4	
	Wysokość [nm]	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	283±27	



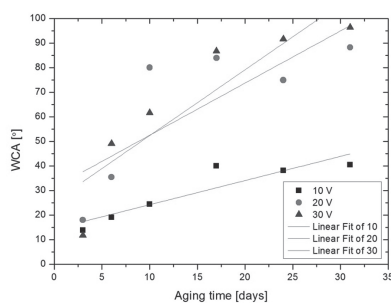
↑ Rys. 3. Obraz SEM warstwy łączącej nanorurki z podłożem



↑ Rys. 4. Kąt zwilżania wodą w funkcji czasu anodowania dla warstw tlenku wytworzonych przy 10, 20 i 30 V.



↑ Rys. 5. Kąt zwilżania wodą w funkcji średnicy warstwy tlenkowej wytworzonej przy 10, 20 V.



↑ Rys. 5. Kąt zwilżania wodą w funkcji czasu starzenia warstwy tlenkowej wytworzonej przy 10, 20 i 30 V.

tym mniejsza zwilżalność. Dla nanorurek wytwarzanych przy napięciu 20 V zwilżalność zmniejsza się przy wzroście średnicy do 100 nm, natomiast dla większych wartości średnicy (powyżej 100 nm) WCA zaczyna rosnąć. Niższe wartości średnicy NT przyczyniają się do zwiększenia powierzchni i chropowatości co wpływa na zwilżalność warstw. Warto wspomnieć, że próbka o średnicy większej niż 100 nm, została

wytworzona w krótkim okresie czasu (1 min), w związku z czym powstała warstwa składa się zarówno z nanorurek, jak i nanoporów. Inna architektura z dwuwarstwową strukturą – nanoporowatą i nanorurkową również wpływa na właściwości zwilżające.

Stwierdzono, że nanorurkowe warstwy tlenkowe wytwarzane w wyniku utleniania anodowego ulegają starzeniu, co zmienia właściwości ich powierzchni. Badano wpływ czasu starzenia na zwilżalność wyprodukowanych struktur, a wyniki przedstawiono na rys. 6. Wykazano, że w przypadku nanorurek anodowanych przy wszystkich analizowanych napięciach, wartość WCA wzrasta wraz ze wydłużonym czasem starzenia. Spadek hydrofilowości jest szybszy w przypadku NT wytworzonych przy napięciu 20 i 30 V, ponieważ wartość WCA wzrasta około 50° po 10 dniach starzenia. Po 1 miesiącu starzenia, WCA warstw nanorurkowych wynosi 40,5°, 88,3° i 96,4° dla odpowiednio 10, 20 i 30 V. Zatem natura nanorurkowych warstw tlenkowych zmienia się z hydrofilowych na hydrofobowe, zwłaszcza dla NT wytworzonych przy 20 i 30 V. Efekt starzenia jest bardziej istotny dla warstwy anodowanej przy wyższych napięciach (20 i 30 V), niż dla nanorurek otrzymanych przy 10 V co wynika z różnic w architekturze warstwy – mniejszej średnicy rurek i obecności struktury dwuwarstwowej.

## Wnioski

Anodowe utlenianie podłoża Ti w elektrolicie na bazie glicerolu zawierającego jony fluorkowe powoduje powstanie nanorurkowej warstwy tlenkowej. Uzyskane nanorurki TiO<sub>2</sub> posiadają charakterystyczne zmarszczki na ścianach i ich wzrost jest prostopadły do powierzchni podłoża. Morfologia nanorurek zależy od przyłożonego napięcia i czasu trwania anodowania. Najbardziej jednolite i dobrze zorganizowane nanorurki otrzymano dla 20 V, podczas gdy warstwy anodowane przy napięciu 30 V nie miały całkowicie uformowanej struktury nanorurkowej. Wysokość NT dla krótkich okresów anodowania (1, 3, 5 i 10 minut) systematycznie rośnie, spada natomiast w przypadku warstw wytworzonych przez 40 minut. W przypadku warstw wytwarzanych przy napięciu 10 V, większa średnica NT przyczynia się do wzrostu zwilżalności warstwy. W przypadku nanorurek o średnicy do 100 nm wytworzonych przy napięciu 20 V zwilżalność zmniejsza się, natomiast dla większych średnic (powyżej

100 nm) WCA zaczyna rosnąć. Wzrost wysokości TiO<sub>2</sub> NT powoduje spadek wartości WCA.

## LITERATURA

- [1] K. Das, S. Bose, A. Bandyopadhyay, *TiO<sub>2</sub> nanotubes on Ti: Influence of nanoscale morphology on bone cell-materials interaction*, J. Biomed. Mater. Res. - Part A. 90 (2009) 225–237. doi:10.1002/jbm.a.32088.
- [2] J.S. Oh S, Daraio C, Chen LH, Pisanic TR, Fiñones RR, *Significantly accelerated osteoblast cell growth on aligned TiO<sub>2</sub> nanotubes*, J. Biomed. Mater. Res. A. 78 (2006) 97–103.
- [3] S. Bauer, J. Park, K. Von Der Mark, P. Schmuki, *Improved attachment of mesenchymal stem cells on super-hydrophobic TiO<sub>2</sub> nanotubes*, Acta Biomater. 4 (2008) 1576–1582. doi:10.1016/j.actbio.2008.04.004.
- [4] Ratner, L.J. BD, Hoffman AS, Schoen FJ, *Biomaterials science: an introduction to materials in medicine*, 2004.
- [5] B.D. Bovan, T.W. Hummert, D.D. Dean, Z. Schwartz, *Role of material surfaces in regulating bone and cartilage cell response*, Biomaterials. 17 (1996) 137–146.
- [6] P.M. Wilson C.J, Clegg RE, Leavesley DJ, *Mediation of biomaterial-cell interactions by adsorbed proteins: a review*, Tissue Eng. 11 (2005) 1–18.
- [7] P. Brunette, D.M., Tengvall, P., Textor, M., Thomsen, *Titanium in Medicine*, 2001.
- [8] G. Balasundaram, T.J. Webster, T.J. Webster, *A perspective on nanophasa materials for orthopedic implant applications*, J. Mater. Chem. 16 (2006) 3737–3745. doi:10.1039/b604966b.
- [9] L. Mohan, C. Anandan, N. Rajendran, *Electrochimica Acta Electrochemical behaviour and bioactivity of self-organized TiO<sub>2</sub> nanotube arrays on Ti-6Al-4V in Hanks' solution for biomedical applications*, Electrochem. Commun. 155 (2015) 411–420.
- [10] C. Mao, Y. Qiu, H. Sang, H. Mei, A. Zhu, J. Shen, S. Lin, *Various approaches to modify biomaterial surfaces for improving hemocompatibility*, Adv. Colloid Interface Sci. 110 (2004) 5–17. doi:10.1016/j.cis.2004.02.001.
- [11] A. Roguska, M. Pisarek, M. Andrzejczuk, M. Dolata, M. Lewandowska, M. Janik-czachor, *Characterization of a calcium phosphate – TiO<sub>2</sub> nanotube composite layer for biomedical applications*, Mater. Sci. Eng. C. 31 (2011) 906–914. doi:10.1016/j.msec.2011.02.009.
- [12] A. Roguska, A. Belcarz, T. Piersiak, M. Pisarek, *Evaluation of the Antibacterial Activity of Ag-Loaded TiO<sub>2</sub> Nanotubes*, Eur. J. Inorg. Chem. 2012 (2012) 5199–5206. doi:10.1002/ejic.201200508.
- [13] T. Groth, G. Altankov, *Studies on cell-biomaterial interaction: Role of tyrosine phosphorylation during fibroblast spreading on surfaces varying in wettability*, Biomaterials. 17 (1996) 1227–1234. doi:10.1016/0142-9612(96)84943-X.
- [14] G. Altankov, F. Grinnell, T. Groth, *Studies on the biocompatibility of materials: Fibroblast reorganization of substratum-bound fibronectin on surfaces varying in wettability*, J. Biomed. Mater. Res. 30 (1996) 385–391. doi:10.1002/(SICI)1097-4636(199603)30:3<385::AID-JBM13>3.0.CO;2-J.
- [15] M. Chen, P.O. Zamora, P. Som, L. a Peña, S. Osaki, *Cell attachment and biocompatibility of polytetrafluoroethylene (PTFE) treated with glow-discharge plasma of mixed ammonia and oxygen*, J. Biomater. Sci. Polym. Ed. 14 (2003) 917–935. doi:10.1163/156856203322381410.
- [16] R.B. Kay C. Dee, David A. Puleo, *An Introduction to Tissue-Biomaterial Interactions*, 2002.
- [17] T.J. Webster, *Advances in Chemical Engineering*, 2003.

Celem Uczelnianej Oferty Dydaktycznej Centrum Studiów Zaawansowanych PW (UOD CSZ PW) jest poszerzenie wiedzy w wybranych kierunkach, a także pomoc i inspiracja w planowanej działalności naukowej. Program oferty adresowany jest do całego środowiska akademickiego Politechniki Warszawskiej, a także chętnych spoza Uczelni. Na propozycję UOD CSZ PW składają się m.in. cykle interdyscyplinarnych wykładów podstawowych i specjalnych.

Merytoryczną opiekę nad UOD CSZ PW sprawuje Rada Programowa Centrum, którą tworzą naukowcy z Politechniki Warszawskiej, Uniwersytetu Warszawskiego, Uniwersytetu Jagiellońskiego i Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych, a także Polskiej Akademii Nauk.

# Uczelniana Oferta Dydaktyczna Centrum Studiów Zaawansowanych

2017/2018

wykłady podstawowe  
(30 h)



- Z1: Równania różniczkowe: niezbędne narzędzie nauk przyrodniczych – prof. Jerzy Kijowski (CFT PAN)
- Z2: Czy geny są odpowiedzialne za wszystko? – prof. Ewa Bartnik (UW)
- Z3: Uogólnione modele liniowe z pakietem R – dr hab. inż. Anna Dembińska (PW)
- Z4: Podstawy fotoniki – prof. Mirosław Karpierz (PW)
- Z5: Podstawy mechaniki kwantowej – prof. Franciszek Krok (PW)
- L1: Zaawansowane materiały – prof. Małgorzata Lewandowska (PW)

wykłady specjalne  
(15 h)



- SZ1: Psychoprofilaktyka zniekształceń osobowości – dr Leszek Mellibruda (Active Business Mind Psychologia biznesu)
- SZ2: Wiedza moralna w darwinowskim świecie – dr Adrian Kuźniar (UW)
- SZ3: Biomimikra – inspiracje z natury – prof. Joanna Pijanowska (UW)
- SL1: Podstawy statystyki z pakietem R – dr hab. inż. Anna Dembińska (PW)
- SL2: Konstrukcja uogólnionych modeli liniowych z pakietem R – dr hab. inż. Anna Dembińska (PW)
- SL3: Poznawanie Wszechświata – prof. Marek Demiański (UW)
- SL4: Wybrane zagadnienia geometrii fraktalnej – dr hab. Bogustawa Karpińska (PW)
- SL5: Teoria osobliwości – prof. Stanisław Janeczko (PW)

Uaktualniona lista przedmiotów znajduje się na stronie internetowej Centrum  
wykłady podstawowe: [http://www.konwersatorium.pw.edu.pl/oferta/w\\_podstawowe.html](http://www.konwersatorium.pw.edu.pl/oferta/w_podstawowe.html)  
wykłady specjalne: [http://www.konwersatorium.pw.edu.pl/oferta/w\\_specjalne.html](http://www.konwersatorium.pw.edu.pl/oferta/w_specjalne.html)